



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

INTRUSÃO SIENÍTICA DO COMPLEXO ALCALINO FLORESTA AZUL, BAHIA: MINERALOGIA E GEOQUÍMICA

Jailson Júnior Alves Santos

Orientador: Dr. Herbet Conceição

Coorientadora: Dra. Maria de Lourdes da Silva Rosa

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias

São Cristóvão-SE

2016

Jailson Júnior Alves Santos

**INTRUSÃO SIENÍTICA DO COMPLEXO ALCALINO FLORESTA
AZUL, BAHIA: MINERALOGIA E GEOQUÍMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, da Universidade Federal de Sergipe, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências

Orientador: Dr. Herbet Conceição

Coorientadora: Dra. Maria de Lourdes da Silva Rosa

São Cristóvão-SE

2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Santos, Jailson Júnior Alves
S237i Intrusão sienítica do Complexo Alcalino Floresta Azul, Bahia:
mineralogia e geoquímica / Jailson Júnior Alves Santos; orientador
Herbet Conceição. – São Cristóvão, 2016.
200 f. : il.

Dissertação (mestrado em Geociências) – Universidade
Federal de Sergipe, 2016.

1. Geociências. 2. Rocha ígneas alcalinas. 3. Mineralogia. 4.
Geoquímica. 5. Bahia. I. Conceição, Herbert, orient. II. Título.

CDU 552.33(813.8)

INTRUSÃO SIENÍTICA DO COMPLEXO ALCALINO FLORESTA AZUL, BAHIA: MINERALOGIA E GEOQUÍMICA

por:

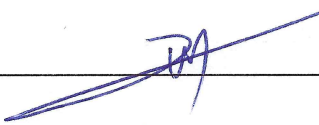

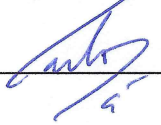
Jailson Júnior Alves Santos
(Geólogo, Universidade Federal de Sergipe – 2013)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de:

MESTRE EM GEOCIÊNCIAS

BANCA EXAMINADORA:

	Dr. Herbet Conceição [Orientador – UFS]
	Dr. Antônio Carlos Galindo [Membro Externo – UFRN]
	Dr. Carlos Dinges Marques de Sá [Membro Interno – UFS]

Data da Defesa: 13/02/2016

*"When the world was virgin
Before the coming of men
Just a solar witness
The beginning of the end
From a world of magma
To a cold rock face
The ascent of madness
And a human race"*

If Eternity should fail – Iron Maiden

Dedicatória

"Aos meus amados pais com todo carinho"

AGRADECIMENTOS

Ao fim de mais uma jornada nada mais justo que agradecer a quem contribuiu e torceu para a realização desse trabalho.

Primeiro agradeço aos meus pais e família que sempre me apoiaram nessa caminhada com todo carinho.

Aos meus orientadores, pessoas que admiro e que sempre pude contar em todos os momentos.

Aos amigos do “Lameirão Esporte Clube” e do “Grupo dos Homi”, com que sempre manterei o forte laço de amizade.

Aos colegas do LAPA pela ótima convivência e companheirismo no ambiente de trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de Pós-graduação concedida durante o período de realização do curso de Mestrado em Geociências.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análises de Bacias (PGAB) por disponibilizar toda a infra-estrutura necessária ao desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

A Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia é constituída por um alinhamento NE-SW de corpos sieníticos brasileiros. Essa província caracteriza-se pela presença de rochas sub-saturadas em SiO_2 . Dentre os corpos existe o Complexo Alcalino Floresta Azul, que corresponde a um batólito constituído por duas intrusões, uma granítica e outra sienítica. Este estudo aborda a Intrusão Sienítica formada por rochas com granulação média a grossa, e composta por microclínio, albita, annita, feldspatoides e acessórios. Interações das rochas com fluidos tardios formam cancrinita e sodalita a partir da nefelina, e a calcita. Utilizando-se da microscopia eletrônica de varredura, com EDS, foi possível identificar a presença e a composição química dos minerais acessórios (e.g. ancilita, pirocloro, monazita, baddeleyíta, zirconolita, torianita, estroncionita e hidroxifluoretos). A mineralogia essencial apresenta composições monótonas indicando reequilíbrio a baixas temperaturas. No estudo da assembleia acessória usual foram identificados os minerais opacos ocorrendo principalmente sob a forma de óxidos (magnetita e ilmenita) e também sulfetos (pirita e esfarelita), o carbonato dominante é calcita, mas observa-se esporadicamente a estroncionita. A apatita está associada a ancilita e monazita e o zircão ocorre anédrico. Nos diagramas de Currie, específicos para rochas alcalinas, foi observada tendência miasquítica e os termos mais evoluídos alocam-se no campo agpaítico. As rochas posicionam-se, em diagramas geoquímicos, nos campos metaluminoso a peraluminoso. Os espectros de ETR apresentam um enriquecimento em ETR leves e a ausência de anomalia significativa de Eu indica condições oxidantes. Os principais resultados desta pesquisa foram a identificação de minerais acessórios até então não descritos na Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia, assim como sua caracterização geoquímica.

Palavras Chave: Rochas Alcalinas, Sienitos, Bahia

ABSTRACT

The “Alkaline Province of Southern Bahia State” – Província Alcalina do Sul da Bahia – consists of a NE-SW trend of SiO₂ undersaturated syenitic massifs of Brasileiro age. One of these massifs, the Floresta Azul Alkaline Complex, is a batholith composed of two different intrusions, one of them granitic and the other one syenitic. The present study was aimed at identifying the accessory minerals of the syenitic rocks through SEM-EDS analysis besides studying the major and trace element geochemistry. The syenites are medium- to coarse-grained rocks with monotonous essential mineralogy including microcline, albite, annite, and nepheline. Secondary cancrinite and sodalite have been formed by low-T reaction between early formed nepheline and late-stage fluids; calcite is also a low-T secondary mineral. The identified accessory minerals were presentacilite, pyrochlore, monazite, baddeleyite, zirconolite, thorianite, strontianite and hydroxyfluorides besides magnetite, ilmenite, pyrite, sphalerite, apatite, ancylite, zircon and monazite. The most common carbonate is calcite although strontianite has also been identified in places. Apatite is associated to ancylite and monazite. Zircon is always anhedral. In the Currie diagrams devised for the study of alkaline suites, it is noteworthy that most syenites are myaskitic although the more evolved terms show an agpaitic character. The syenites are metaluminous to peraluminous and their REE spectra show strong LREE enrichment and no Eu anomalies indicating oxidating conditions. The main contribution of this study was the identification of accessory minerals so far unknown in the Alkaline Province of Southern Bahia State and the geochemical characterization of the Floresta Azul Massif.

Keywords: Alkaline Rocks, Syenite, Bahia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esboço geológico simplificado da PASEBA.	3
Figura 2. Esboço geológico do Complexo Alcalino Floresta Azul	5
Figura 3. Contornos geográficos dos estados da Bahia e Sergipe com a localização do CAFA com as principais vias de acesso.	6
Figura 4 Esboço geológico do CAFA com destaque para a ISn e com a distribuição das rochas sub-saturadas em SiO_2	10
Figura 5. Imagem ilustrando a incidência dos elétrons sobre a amostra e as várias interações resultantes.....	12
Figura 6. Sienito do CAFA, onde pode-se observar um cristal de Nph com alteração para Sdl em sua borda.	30
Figura 7. Classificação das rochas sub-saturadas, com base nos dados modais.	33
Figura 8. Correlações dos volumes de minerais nas fácies sub-saturadas.	60
Figura 9. Diagrama Or (Ortoclásio)-Ab (albita)-An (Anortita) para nomenclatura dos feldspatos estudados.....	68
Figura 10. Diagrama An (Anortita)-Ab (Albita)-Or (Ortoclásio) com isotermas de equilíbrio.	68
Figura 11. Diagrama ternário com as variações das moléculas de Nefelina (Ne)-Kalsilita (Ks)-Quartzo (Q).	71
Figura 12. Diagrama ternário Al-Mg-Fe para classificação da biotita.....	78
Figura 13. Diagrama de classificação dos piroxênios com base em $Q = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ versus $J = 2\text{Na}$ para aqueles do fenito.....	81
Figura 14. Diagrama de classificação dos piroxênios Wo-En-Fs (Quad).	81
Figura 15. Imagem no MEV da lâmina 2200 ilustrando a ocorrência de apatita (Ap) anédrica com Ce.	87
Figura 16. Diagrama $\text{Ce} + \text{Na}$ versus Ca demonstrando a substituição de Ca por $\text{Ce} + \text{Na}$ nas apatitas.	88
Figura 17. Imagens obtidas em mesma região da lâmina delgado-polida 2195. No centro da imagem observa-se um grande cristal de zircão anédrico que ocorre de forma intersticial e apresenta inclusões de thorianita.	91
Figura 18. Exsolução do tipo sanduíche de ilmenita (faixas escuras) em cristal de magnetita (faixas claras).	96

Figura 19. Imagem de MEV da amostra 2195 (Fácies Annita Foid Sienito) obtida a partir do detector BSE ilustrando a ocorrência de pirita euédrica.	99
Figura 20. Imagem de MEV da amostra 2098 obtida a partir do detector BSE ilustrando a ocorrência de esfarelita (Sp) subédrica e pirita anédrica (Py).	101
Figura 21. Imagens obtidas em mesma região de lâmina delgado-polida 2200. O maior cristal de ancilite anédrico nessa imagem ocorre na periferia do cristal de calcita. Os cristais menores ocorrem de forma irregular em torno do cristal de apatita, exibindo contatos ameboidais.	102
Figura 22. Imagem no MEV da lâmina 2200 onde é observada a ocorrência de ancilite (Anc) de forma disseminada em cristal de calcita (Cal).	106
Figura 23. Imagem no MEV da lâmina 2200 onde é observada a ocorrência de ancilite (Anc) em associação com apatita (Ap) e monazita (Mnz).	106
Figura 24. Diagrama Nd-La-Ce aplicado aos cristais de ancilite estudados.	107
Figura 25. Imagem no MEV da lâmina 2195 (Fácies Annita Foid Sienito) onde pode ser observada a ocorrência do mineral similar a ancilite (X).	109
Figura 26. Imagens obtidas em mesma região da lâmina delgado-polida 2200. É ilustrado a ocorrência de um cristal de pirocloro na porção central em associação com baddeleyíta.	111
Figura 27. Diagrama ternário catiônico Ti-Nb-Ta utilizado para a classificação dos minerais do Supergrupo do Pirocloro.	114
Figura 28. Diagrama catiônico Vacância-Ca-Na utilizado para classificação da cristalização do pirocloro.	114
Figura 29. Imagem no MEV da lâmina 2200 referente a ocorrência de monazita (Mnz) com apatita (Ap) e ancilite (Anc).	117
Figura 30. Diagrama com base nos conteúdos dos ETR [La/Nd versus (La+Ce+Pr)%] contidos na monazita.	117
Figura 31. Imagem BSE da textura do fenito apresentando cristal de zirconolita subédrico.	124
Figura 32. Diagrama catiônico ETR-(Th+U)-Nb-Ta com os campos delimitando a ocorrência de zirconolita.	125
Figura 33. Diagrama catiônico (Th+U)-Ca-(ETR+Y) com campos delimitando as composições de cristais de zirconolita.	125
Figura 34. Diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2	136
Figura 35. Diagramas de Currie para a classificação de rochas alcalinas.	137
Figura 36. Diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ versus $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$	139

Figura 37. Diagrama AFM	140
Figura 38. Diagrama K_2O <i>versus</i> SiO_2	140
Figura 39. Diagramas de Harker (1909) para elementos maiores aplicados as rochas estudadas do CAFA.	141
Figura 40. Diagramas do tipo Harker para os elementos menores e traços aplicados as rochas da do CAFA.	148
Figura 41. Diagrama com os espectros dos Elementos Terras Raras normalizado pelo condrito de Boyton (1984).	150

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Amostras estudadas com os seus dados disponíveis	9
Tabela 2. Minerais com suas quantidades de oxigênios e cátions que foram utilizados para o cálculo de sua fórmula estrutural	18
Tabela 3. Divisão das amostras de acordo com as fácies petrográficas	33
Tabela 4. Análises modais das amostras da Fácies Annita Foid Sienito	34
Tabela 5. Análises modais para as amostras da Fácies <i>Foid</i> Sienito.	41
Tabela 6. Análises modais para as amostras da Fácies <i>Foid</i> Sienito Porfirítico.....	43
Tabela 7. Análise modal para a amostra da Fácies Álcali Sienito	49
Tabela 8. Análise modal para a amostra da Fácies Fenito.	51
Tabela 9. Análises modais para as amostras da Fácies Embasamento.....	54
Tabela 10. Ordem de cristalização nas fácies foidolíticas da ISn do CAFA.....	60
Tabela 11. Análises químicas pontuais representativas para os feldspatos.....	66
Tabela 12. Análises químicas pontuais de cristais de nefelina.	70
Tabela 13. Análises químicas pontuais de cristais de cancrinita.	73
Tabela 14. Análises químicas pontuais em cristais de sodalita	74
Tabela 15. Análises químicas pontuais representativas de micas.	76
Tabela 16. Análises químicas pontuais de cristais de diopsídio.....	79
Tabela 17. Análises químicas pontuais de cristais de calcita e estroncionita.....	84
Tabela 18. Análises químicas pontuais de cristais de apatita.	86
Tabela 19. Análises químicas pontuais em cristais de zircão.	90
Tabela 20. Análises químicas pontuais em cristais de ilmenita.	93
Tabela 21. Análises químicas pontuais de cristais de magnetita.	95
Tabela 22. Pares de magnetita-ilmenita para o cálculo geotermobarometro	96
Tabela 23. Análises químicas pontuais de cristais de pirita.	98
Tabela 24. Análises químicas pontuais de cristais de esfarelita.	100
Tabela 25. Análises químicas pontuais em cristais de ancilita	104
Tabela 26. Análises químicas pontuais do mineral semelhante a ancilita	108
Tabela 27. Análises químicas pontuais de cristais de pirocloro	112
Tabela 28. Análises químicas pontuais de cristais de monazita.	116
Tabela 29. Análises químicas pontuais representativas de cristais de baddeleyíta	119
Tabela 30. Análises químicas pontuais de cristais de zirconolita.....	123

Tabela 31. Análises químicas pontuais de cristais de torianita.	127
Tabela 32. Análises químicas pontuais dos hidroxifluoretos.....	129
Tabela 33. elementos maiores das rochas estudadas.....	135
Tabela 34. Composições normativas para as fácies estudadas.....	143
Tabela 35. Elementos menores a traços das rochas estudadas.....	146

LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2195.	35
Fotomicrografia 2. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2199.	36
Fotomicrografia 3. Imagem da amostra 2195 apresentando um cristal de annita.	39
Fotomicrografia 4. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2198.	40
Fotomicrografia 5. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2201.	44
Fotomicrografia 6. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2202A.	45
Fotomicrografia 7. Imagem apresentando um cristal zonado de aegirina-augita (Aeg-Aug) da amostra 2201.	48
Fotomicrografia 8. Imagem da amostra 2201 apresentando sobrecrescimento de annita (Ann) e hornblenda (Hbl) em cristal de aegirina-augita (Aeg-Aug).	48
Fotomicrografia 9. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2204.	50
Fotomicrografia 10. Imagem apresentando cristais de aegirina-augita (Aeg-Aug) e de microclínio (Mc) da amostra 2206.	52
Fotomicrografia 11. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2208.	55
Fotomicrografia 12. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2205.	55
Fotomicrografia 13. Imagens da amostra 2208, onde pode-se observar a liberação de minerais opacos (Opq) a partir dos cristais de diopsídio (Di) e a formação de lepidomelano (Lpm).	58

LISTA DE SIGLAS

PASEBA - Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia

CAFA - Complexo Alcalino Floresta Azul

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

ISn - Intrusão Sienítica

ETR - Elementos Terras Raras

UFS - Universidade Federal de Sergipe

LAPA - Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral

SE - *Secondary Electrons*

BSE - *Back-Scattered Electrons*

EDS - *Energy Dispersive Spectrometer*

CIPW - Cross, Iddengs, Pirsson e Washington

IMA - International Mineralogical Association

CSF - Cráton do São Francisco

TTG - Tonalito, Trondhjemito e Granodiorito

ID - Índice de Diferenciação

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	1
I.1. APRESENTAÇÃO	2
I.2. MOTIVAÇÃO	4
I.3. OBJETIVO	4
I.4. LOCALIZAÇÃO	4
II. MATERIAIS E MÉTODOS	7
II.1. INTRODUÇÃO	8
II.2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	8
II.3. SELEÇÃO DE AMOSTRAS	9
II.4. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA	9
II.4.1. Equipamentos Utilizados e Procedimento da Descrição	11
II.5. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	11
II.5.1. Princípio Básico	11
II.5.2. Elétrons Secundários	13
II.5.3. Elétrons Retroespalhados	13
II.5.4. Espectroscopia por Energia Dispersiva	14
II.5.5. Equipamento Utilizado e Procedimentos de Análise	15
II.6. GEOQUÍMICA	16
II.6.1. Técnicas Utilizadas e Procedimentos de Análise	16
II.7. TERMINOLOGIAS TÉCNICAS UTILIZADAS	17
II.7.1. Critério de Cores nos Esboços Geológicos	17
II.7.2. Nomenclatura das Rochas	17
II.7.3. Abreviação dos Minerais	17
II.7.4. Cálculo da Fórmula Estrutural	17
III. GEOLOGIA REGIONAL	19
III.1. INTRODUÇÃO	20
III.2. EMBASAMENTO	20
III.2.1. Complexo Itapetinga	21
III.2.2. Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá	22
III.3. DIQUES	23
III.4. GRUPO RIO PARDO	23
III.5. ROCHAS ALCALINAS	24

III.6. BACIAS SEDIMENTARES E COBERTURA SUPERFICIAL	25
IV. GEOLOGIA LOCAL	26
IV.1. INTRODUÇÃO.....	27
IV.2. EMBASAMENTO	27
IV.2.1. Complexo Ibicaraí-Buerarema.....	27
IV.2.2. Complexo Almadina	28
IV.3. COMPLEXO ALCALINO FLORESTA AZUL	28
IV.3.1. Intrusão Granítica.....	28
IV.3.2. Intrusão Sienítica.....	29
V. PETROGRAFIA	31
V.1. INTRODUÇÃO	32
V.2. FÁCIES ANNITA <i>FOID</i> SIENITO.....	34
V.3. FÁCIES <i>FOID</i> SIENITO	38
V.4. FÁCIES <i>FOID</i> SIENITO PORFIRÍTICO	43
V.5. FÁCIES ÁLCALI SIENITO	49
V.6. FÁCIES FENITO	51
V.7. FÁCIES EMBASAMENTO.....	54
V.8. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PETROGRAFIA	59
VI. QUÍMICA MINERAL	64
VI.1. INTRODUÇÃO.....	65
VI.2. FELDSPATOS.....	65
VI.3. FELDSPATÓIDES.....	69
VI.3.1. Nefelina	69
VI.3.2. Cancrinita.....	72
VI.3.3. Sodalita	72
VI.4. MICAS.....	75
VI.5. DIOPSÍDIO.....	77
VI.6. CARBONATOS.....	82
VI.6.1. Calcita	82
VI.6.2. Estroncianita	83
VI.7. APATITA	85
VI.8. ZIRCÃO.....	89
VI.9. Óxidos de Ferro e Titânio	92
VI.9.1. Ilmenita	92
VI.9.2. Magnetita.....	94
VI.9. SULFETOS.....	97

VI.9.1. Pirita.....	97
VI.9.2. Esfarelita.....	99
VI.10. ANCILITA	101
VI.10.1. Mineral Semelhante a Ancilita	107
VI.11. PIROCLORO.....	109
VI.12. MONAZITA	113
VI.13. BADDELEYÍTA	118
VI.14. ZIRCONOLITA.....	120
VI.15. TORIANITA	126
VI.16. HIDROXIFLUORETOS DE ETR	128
VI.17. CONSIDERAÇÕES FINAIS	130
VII. GEOQUÍMICA	132
VII.1. INTRODUÇÃO	133
VII.2. ELEMENTOS MAIORES.....	133
VII.2.1. Classificação Geoquímica	133
VII.2.2. Diagramas de Harker	138
VII.2.3. Norma CIPW	142
VII.3 ELEMENTOS MENORES E TRAÇOS.....	145
VII.3.1. Diagramas Tipo Harker	145
VII.3.2. Espectros dos ETR.....	149
VII. 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOQUÍMICA.....	151
VIII. CONCLUSÕES.....	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
ANEXOS	167

I. INTRODUÇÃO

I.1. APRESENTAÇÃO

O magmatismo alcalino possui um fascínio particular, sobretudo devido a sua composição e consequente mineralogia, onde famílias minerais se manifestam de forma peculiar, seja pela deficiência em SiO_2 que leva a formação dos feldspatoides, através da concentração de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) que formam minerais máficos alcalinos característicos ou pelas elevadas concentrações em elementos incompatíveis que levam a formação de minerais raros.

Os magmas alcalinos básicos e ultrabásicos, principalmente os potássicos a ultrapotássicos (lamproíticos, lamprofíricos e kimberlíticos), apresentam uma grande importância em estudos petrológicos sobre o manto, já que contém xenólitos ultramáficos em volumes expressivos. Os basaltos alcalinos extravasam formando fluxos de lava ou formam vulcões do tipo cone de cinza cuja forma não é distinguível de derrames toleíticos, mas a sua gênese associada a *hot spots* é uma característica determinante.

Os carbonatitos perfazem um grupo de rochas alcalinas que ocorrem de forma intrusiva e de maneira restrita são observadas atividades vulcânicas. Comumente ocorrem como fácies petrográficas pouco expressivas em intrusões nefelina-sieníticas, sendo denominados de complexos carbonatíticos.

No presente estudo será abordada a Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia (PASEBA, Fig. 1), que corresponde a uma série de intrusões alcalinas Neoproterozoicas que ocorreram durante o Ciclo Brasileiro (Cordani 1974), sendo a sua colocação relacionada a fase final da fragmentação do supercontinente Rodínia (Rosa *et al.* 2007). Esse magmatismo se destaca por apresentar na grande maioria corpos com ocorrência de rochas sub-saturadas em SiO_2 , que correspondem a sienitos de cor azul, que são conhecidos comercialmente como Azul-Bahia, *Blue*-Bahia ou ainda Granito-Azul Bahia, e constituem a rocha ornamental mais valorizada do mercado brasileiro, sendo um dos principais produtos do setor mineral da Bahia. Apesar de ser um bem mineral explorado a mais de 50 anos, pouco ainda se sabe sobre os processos geológicos responsáveis pela sua origem e quais os potenciais econômicos ainda podem estar inexplorados.

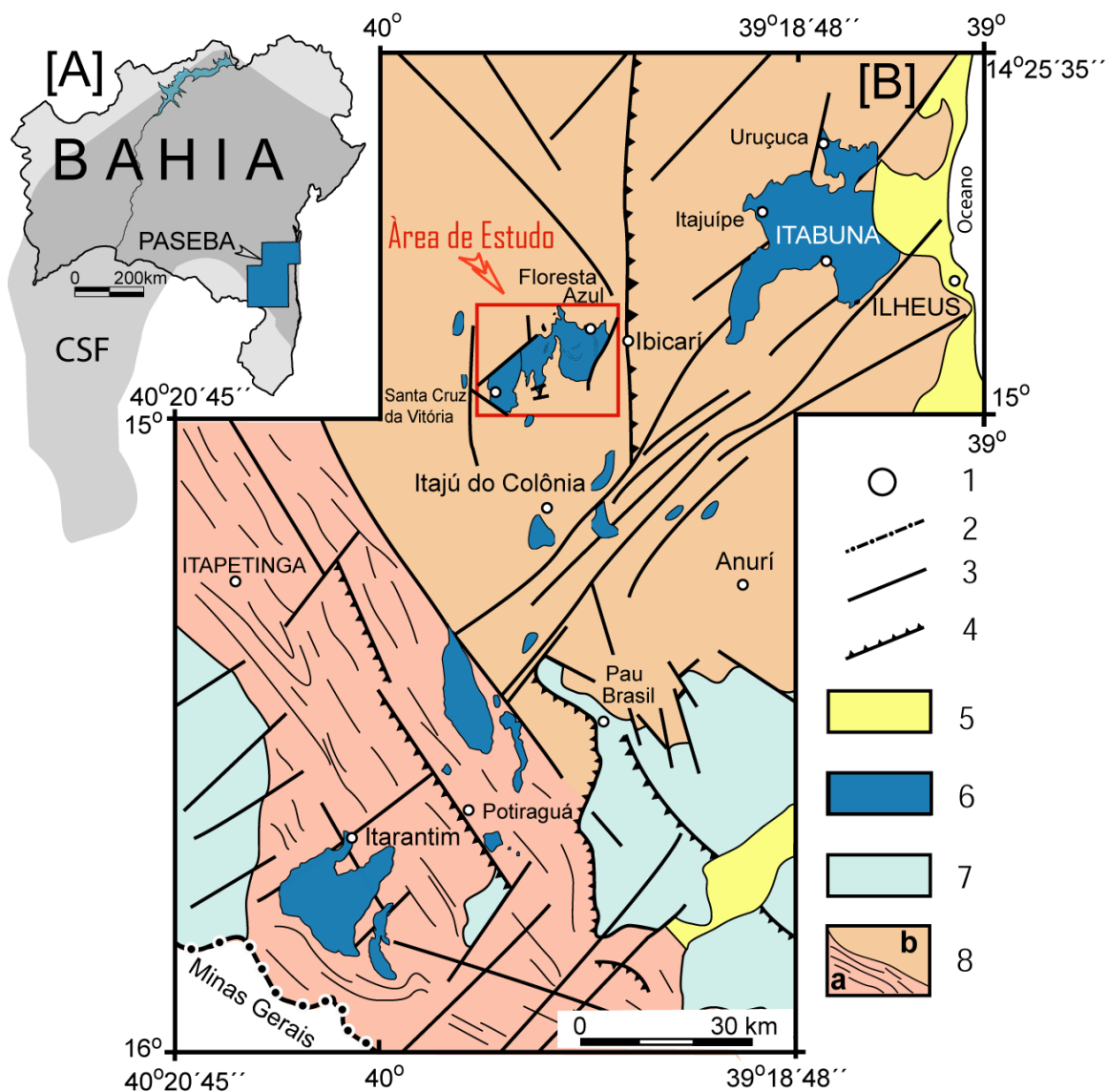


Figura 1. Localização da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia – PASEBA, com o contorno do Cráton do São Francisco (CSF) [A]. Esboço geológico simplificado da PASEBA, após Rosa *et al.* (2004) [B]. Cidade [1], Limite Interestadual [2], Fraturas/Falhas [3], Falhas de Cavalcamento [4], Bacias Sedimentares e Cobertura Superficial [5], Grupo Rio Pardo [6], Rochas Alcalinas [7], Complexo Itapetinga [8a], Orógeno-Itabuna Salvador-Curaçá [8b]. No retângulo em vermelho é destacado o objeto de estudo, o Complexo Alcalino Floresta Azul.

I.2. MOTIVAÇÃO

O estudo de rochas alcalinas sempre foi considerado uma tarefa desafiadora, pois mesmo apresentando menores volumes com relação as demais ocorrências ígneas a sua cristalização promove a formação rochas com composição variada. As rochas sub-saturadas perfazem um dos grupos peculiares, por apresentar normalmente mineralogia exótica.

Ao longo de décadas a PASEBA foi estudada por diversos autores, onde os seus principais aspectos petrológicos, geoquímicos e geocronológicos foram determinados e discutidos. Ao fim da minha graduação surgiu a oportunidade de continuar os estudos no Complexo Alcalino Floresta Azul (CAFA, Fig. 2), com a realização de análises a partir da microscopia eletrônica de varredura (MEV), o que poderia representar uma nova visão e apresentar características até então não observadas.

I.3.OBJETIVO

A elaboração desse trabalho visa um aprofundamento nos estudos da Intrusão Sienítica (ISn), do Complexo Alcalino Floresta Azul (CAFA), que corresponde a um dos corpos da PASEBA onde a presença de feldspatóides pode agregar valor comercial, devido a grandes concentrações de sodalita.

Para um melhor entendimento do objeto de estudo foram realizadas descrições petrográficas para identificar novas texturas, minerais e processos que possam ter ocorrido durante a evolução magmática. Assim como análises químicas de minerais e rochas a fim de se obter dados sobre a evolução do *stock*, bem como mudanças composicionais nos minerais, alterações e como ocorreu a diferenciação da ISn.

I.4. LOCALIZAÇÃO

O CAFA está localizado entre as cidades de Santa Cruz da Vitória e Floresta Azul no Sul do Estado da Bahia, distando cerca de 830 km de Aracaju e 500 km de Salvador (Fig. 3), estando inserido na Folha Ibicaraí SD.24-Y-B-V, sendo o acesso a área realizado pela via rodoviária BR-415.

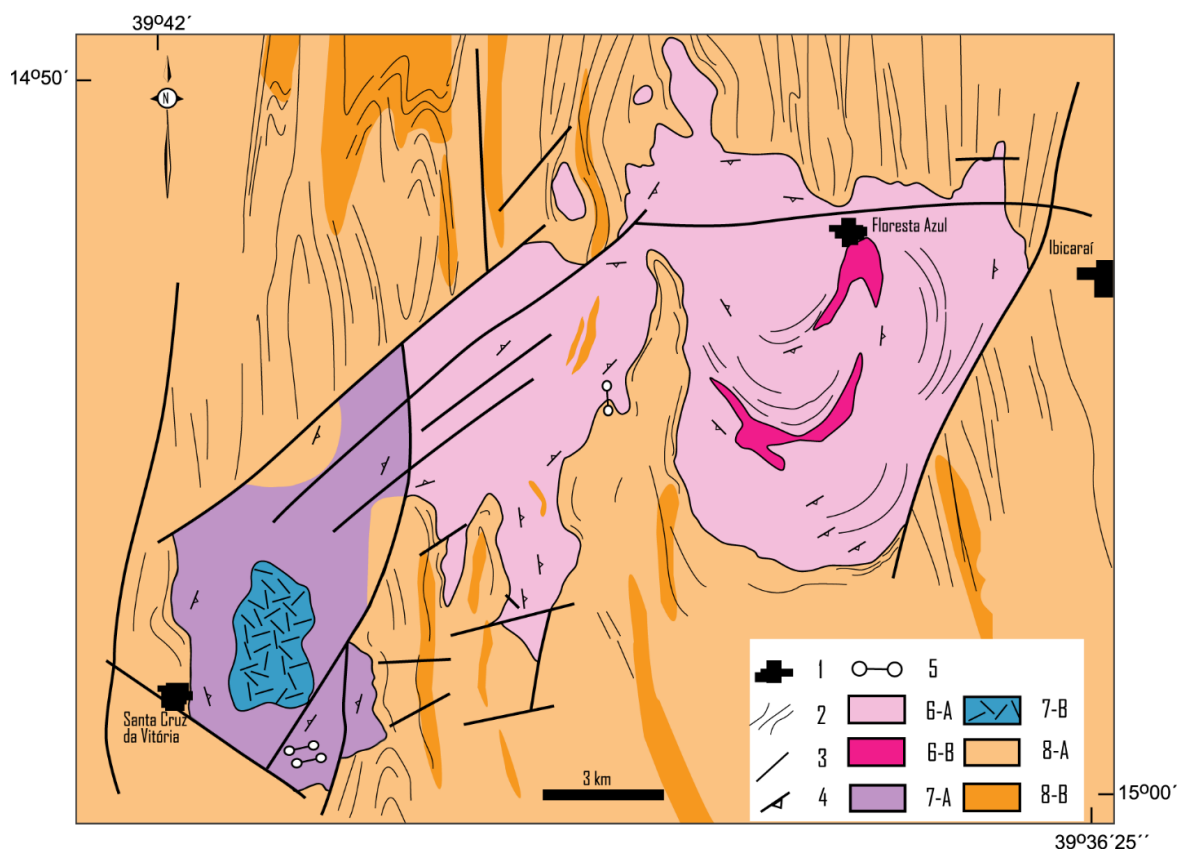


Figura 2. Esboço geológico do Complexo Alcalino Floresta Azul, elaborado a partir de Martins & Santos (1993) e Rosa *et al.* (2004). Cidades [1], Lineamentos observados em imagens [2], Falhas e fraturas [3], Foliação magmática no CAFA [4], Diques [5], Intrusão Granítica [6, A= granitos alcalinos com enclaves dioríticos; B= granitos alcalinos com mais de 50% de enclaves dioríticos], Intrusão Sienítica [7, A= sienitos e B=sienitos com maiores concentrações de feldspatóides] e Embasamento [8, A= Complexo Ibicarai-Buerarema; B= Complexo Almadina]

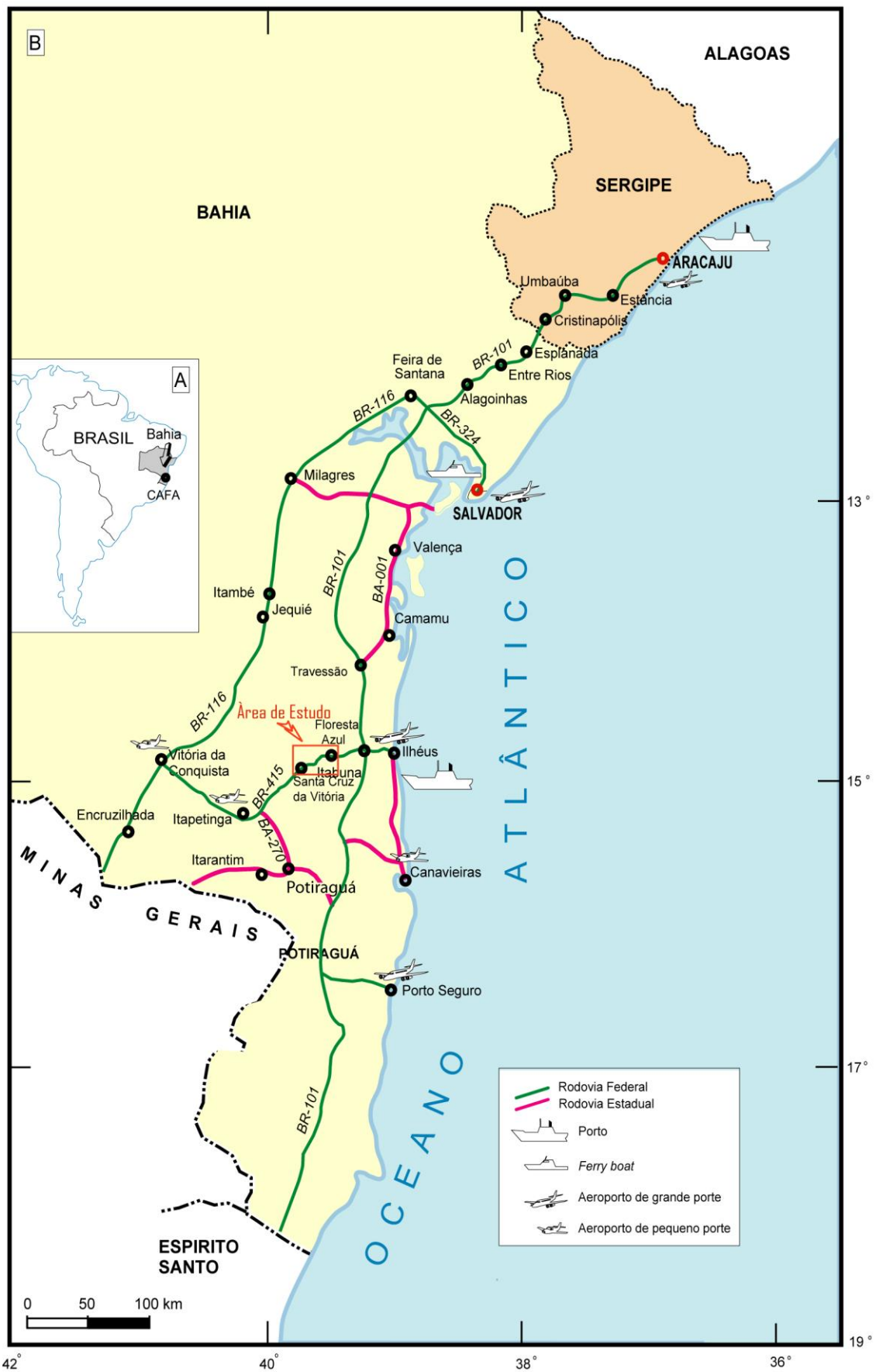


Figura 3. Contorno geográfico do estado da Bahia com a localização do CAFA [A] e localização detalhada da área de estudo com as principais vias de acesso [B].

II. MATERIAIS E MÉTODOS

II.1. INTRODUÇÃO

A elaboração do presente trabalho foi realizada utilizando-se de diversas técnicas analíticas que permitiram um estudo mais detalhado sobre as rochas da Intrusão Sienítica do CAFA.

Os procedimentos realizados foram: levantamento bibliográfico, seleção de amostras, caracterização petrográfica, investigação da mineralogia com MEV, considerações geoquímicas e terminologias técnicas utilizadas.

II.2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Esse levantamento foi realizado, visando obter as informações disponíveis para a compreensão da história e características geológicas da região de abrangência da PASEBA.

Os trabalhos de Fujimori (1967) e Silva Filho *et al.* (1974) trouxeram os primeiros registros e conceitos sobre a PASEBA. Em Motta *et al.* (1981) e Mascarenhas & Garcia (1989) foram abordados aspectos estruturais e hipóteses que condicionaram a origem da província. Já nos relatos de Figueiredo (1989), Renné *et al.* (1990), Martins & Santos (1993), Oliveira *et al.* (1999), Cruz Filho *et al.* (2003), Rosa *et al.* (2007) e Paixão (2008) são descritas as características gerais do embasamento que ocorre na província, bem como alguns aspectos geológicos, geoquímicos e geocronológicos.

A geologia local utilizou como base o texto explicativo da folha Folha Ibicaí SD.24-Y-B-V (Martins & Santos 1997), que aborda principalmente as rochas em contato com o CAFA. Os escritos de Rosa *et al.* (2003a, 2003c, 2004, 2005a, 2005b, 2005c e 2007) foram trabalhos-chave por apresentarem dados petrológicos, geoquímicos, estruturais e de geocronologia até então não disponíveis para as intrusões do CAFA. Também foram utilizados trabalhos científicos de conclusão de curso que tratam de outros corpos alcalinos dessa província, com o intuito de observar características similares e possíveis peculiaridades com relação ao CAFA, sendo eles tratados nas monografias de Cabral (2008) e Santos (2008), as dissertações de Salinas (2011) e Cabral (2013) e as teses de (Peixoto 2005) e Oliveira (2010).

II.3. SELEÇÃO DE AMOSTRAS

Foram selecionadas para esse estudo um total de 30 amostras (Tab. 1), sendo 16 delas referentes as rochas sub-saturadas da ISn (Fig. 4). De forma geral 21 delas possuíam lâminas, sendo 16 delgadas e 5 delgado-polidas. Nesse conjunto duas amostras, 2195 e 2200, estavam em duplicata com uma lâmina delgada e a sua equivalente em delgado-polida. Já em relação as análises geoquímicas foram utilizadas 26 amostras, onde 11 delas possuíam dados completos com análises de elementos maiores, menores e ETR.

As amostras analisadas constam no acervo do LAPA na Universidade Federal de Sergipe (UFS). O conjunto de lâminas estudadas apresentaram uma boa representatividade do corpo, ocorrendo desde as suas bordas até a região central.

Tabela 1. Amostras estudadas com os seus dados disponíveis (X) em lâminas delgadas (L.Delgada), lâminas delgado-polidas (L.Delgado-Polida), análises de elementos maiores (EM) a traços (ET) e análises de ETR.

Amostra	2098	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2195
L.Delgada	-	-	-	X	X	X	X	-	-	X
L.Delgado-Polida	X	-	X	X	-	-	-	-	-	X
EM e ET	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X
ETR	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Amostra	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202A	2202B	2203	2204
L.Delgada	-	X	X	X	X	X	X	-	-	X
L.Delgado-Polida	-	-	-	-	X	-	-	X	-	-
EM e ET	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X
ETR	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-
Amostra	2205	2206	2207	2208	2009	2210	2215	2216	2225	Sod_2
L.Delgada	X	X	-	X	X	-	-	-	-	-
L.Delgado-Polida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EM e ET	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X
ETR	-	X	X	-	-	X	X	-	X	X

II.4. CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

As descrições microscópicas objetivaram determinar os minerais presentes e seus principais aspectos como texturas e os seus volumes. Essas informações possibilitaram classificar as rochas, permitindo considerações sobre os processos que levaram à sua origem e possíveis alterações ao longo de sua história evolutiva.

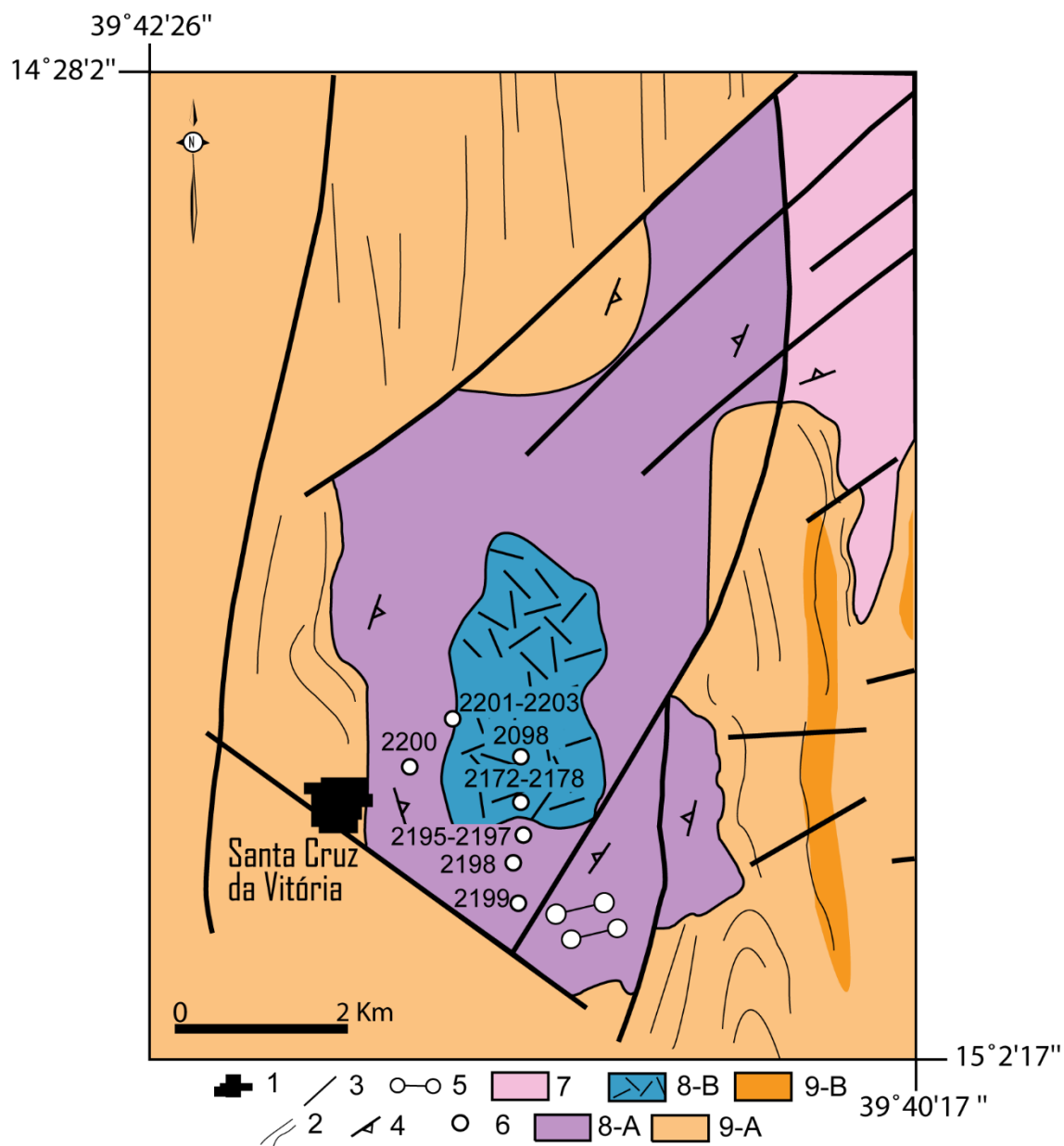


Figura 4 Esboço geológico do CAFA com destaque para a ISn e com a distribuição das rochas sub-saturadas em SiO₂ estudadas, modificado de Rosa *et al.* (2004). Cidades [1], Lineamentos observados em imagens [2], Falhas e fraturas [3], Foliação magmática no CAFA [4], Diques [5], Rochas estudadas [6], Intrusão Granítica [7], Intrusão Sienítica [8, A= sienitos e B= *foid* sienitos] e Embasamento [9, A= Complexo Ibicaraí-Buerarema; B= Complexo Almadina].

II.4.1. Equipamentos Utilizados e Procedimento da Descrição

As descrições petrográficas foram realizadas em microscópio petrográfico de marca XJP200 Nanjing Kozo Optical e, para a moda, foi utilizado um contador de pontos semi-automático Swift Model F acoplado a um microscópio petrográfico Leitz, modelo Laborlux 12 Pol 15. As imagens microscópicas foram obtidas a partir de um microscópio Olympus BX 41 com uma câmera acoplada Olympus SC30, interligado ao *Software Cell^B* Olympus (2008).

Os minerais foram analisados de forma sistemática, sendo inicialmente caracterizados em luz natural polarizada onde foram analisadas variação das cores, pleocroísmo e relevo. Já com os nicóis cruzados foram observadas as características morfológicas e a anisotropia.

Para a elaboração do texto foram descritas as principais características dos minerais como por exemplo: cor, pleocroísmo, formas, tamanhos, volume, texturas, contatos, inclusões e alterações. Para a moda foi utilizado um contador de pontos semi-automático onde foram feitos cerca de 3.000 a 3.200 pontos por lâmina, permitindo assim uma maior confiabilidade na determinação dos volumes minerais.

II.5. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Para a compreensão do funcionamento e dos resultados obtidos a partir do microscópio eletrônico de varredura foram utilizados os trabalhos de Maliska (2005) e Reed (1996), sendo apresentada a seguir uma síntese dos principais aspectos do MEV.

II.5.1. Princípio Básico

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica investigativa baseada na interação entre feixes de elétrons com uma substância sólida, a ser analisada a fim de se determinar contrastes e volumes composicionais, superfícies topográficas e informações cristalográficas. O princípio básico de funcionamento consiste na emissão de um feixe de elétrons a partir de uma fonte que ao interagir com a amostra (Fig. 5) promove a emissão de radiações

(elétrons secundários, elétrons retroespalhados, raios-X característicos, elétrons Auger, fótons etc.). As energias liberadas são captadas por detectores específicos para obtenção da informação desejada.

O MEV é considerado um equipamento versátil e manuseio simples, sendo integralmente operado via computador em ambientes Windows® ou Unix® e apresenta um custo/benefício relativamente inferior em comparação com técnicas similares como, por exemplo a microsonda eletrônica. Vale ressaltar também que a grande utilização do MEV se dá por apresentar um processo relativamente simples na preparação das amostras e a sua elevada resolução espacial na ordem de 2 a 5 nm com aumentos que podem chegar até 900.000 vezes.

Dentre os detectores mais utilizados nos MEVs destacam-se os elétrons secundários, elétrons retroespalhados e espectroscopia por energia dispersiva que serão caracterizadas a seguir:

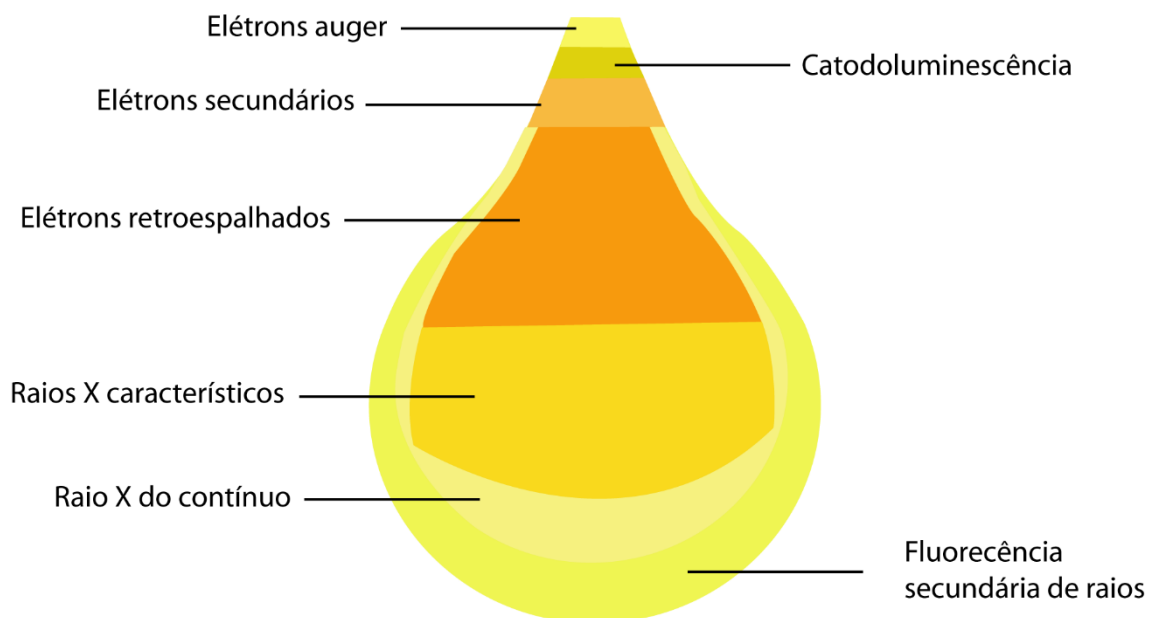


Figura 5. Imagem ilustrando a incidência dos elétrons sobre a amostra e as várias interações resultantes de acordo com as suas profundidades de formação. Após Dedavid *et al.* (2007).

II.5.2. Elétrons Secundários

Os elétrons secundários são formados a partir de interações inelásticas, entre os elétrons do feixe primário, emitidos pelo canhão de elétrons com a amostra analisada. Devido à baixa energia com que são formados, sendo inferiores a 50 eV, apenas os elétrons secundários que se encontram próximos a superfície do material tem energia suficiente para escapar da amostra e consequentemente ser analisado pelo detector. Os elétrons secundários podem ser classificados em dois tipos de acordo com a sua resolução: os de alta resolução, onde o elétron primário interage em uma região, menor que 5λ e vão apresentar informações sobre a superfície; e os elétrons secundários de baixa resolução que são formados quando os elétrons retroespalhados se aproximam da superfície a uma distância de 5λ e conseguem escapar da amostra, trazendo também informações do elétron retroespalhado, com isso serão determinadas informações sobre a composição química da amostra e informações de profundidade.

O SE fornece a imagem de maior resolução, sendo resultado da profundidade de onde são originados os sinais e do seu volume de interação. O detector de SE é bastante eficiente e as suas imagens, que oferecem boas informações sobre a superfície/relevo, são relativamente fáceis de interpretar. É basicamente por esta razão que a imagem de elétrons secundários é a mais usada na microscopia eletrônica de varredura.

II.5.3. Elétrons Retroespalhados

Os elétrons retroespalhados são formados por colisões elásticas e inelásticas, onde a mudança de direção ejeta os elétrons da amostra. Possuem energia entre 50eV até os valores dos elétrons primários, sendo que os elétrons com maiores energias sofreram espalhamento elástico nas camadas mais superficiais da amostra e formam a maior parte do sinal BSE.

Os elétrons retroespalhados de baixa energia que se formam no interior da amostra são provenientes de uma região de interação com maior diâmetro do que o do feixe primário. Portanto, a resolução da imagem gerada por esses elétrons possui resolução inferior que a imagem do SE. Isso pois, quanto menor

a interação do feixe com a amostra, maior será a sua resolução espacial. Outro fator importante para resolução da imagem está relacionado ao número atômico (Z), que quanto maior, menor será o volume de interação, e consequentemente maior a resolução.

O sinal de BSE contém informações sobre a composição da amostra, sendo que em alguns casos a imagem de BSE pode apresentar também contraste topográfico.

II.5.4. Espectroscopia por Energia Dispersiva

O EDS capta o sinal que é formado através de interações inelásticas do feixe de elétrons com a amostra, onde pode ocorrer a excitação de raios-X Bremsstrahlung ou raios-X contínuos e a ionização das camadas internas originando a emissão dos raios-X característicos.

Na radiação contínua, quando um elétron é desacelerado a energia perdida é transformada em fótons de raio-X. Na radiação característica o feixe emitido interage com os elétrons das camadas mais internas, causando a sua ejeção e formando uma vacância, deixando assim o átomo em um estado energético, que volta rapidamente ao seu estado fundamental.

O detector EDS é um dispositivo de estado sólido, usado para detectar os raios-X e converter sua energia em cargas elétricas. Essas cargas geram um sinal que quando processados identificam a energia dos raios-X e consequentemente seus elementos.

O EDS identifica composições em regiões com até 10 nm de diâmetro e é capaz de determinar elementos com quantidades de 1-2% na amostra, tendo precisão de até 0,1%, através dos espectros de raios-x emitidos pelos elementos presentes na amostra. É igualmente possível se obter mapa composicional de regiões sob observação, permitindo que se correlacione a metalografia ótica ou eletrônica com informações microcomposicionais detalhadas

II.5.5. Equipamento Utilizado e Procedimentos de Análise

Foi utilizado um MEV da marca Tescan® (modelo Vega 3), tendo acoplado detectores para a captação de sinais de SE, BSE e um EDS da marca Oxford Instrumentos® (X-Act).

As condições analíticas utilizadas foram uma aceleração potencial de 15Kv e corrente variando de 15 nA a 20 nA, gerando um feixe de elétrons com diâmetro compreendido entre 300nm (0,0003mm) a 830nm (0,00083 mm).

O tempo médio de análise por ponto foi de 60 segundos, onde a precisão nos resultados obtidos para os elementos dosados com a concentração dos elementos dosados, sendo superior a 98% para elementos com concentração superior a 20% em peso e de até 80% para elementos químicos com concentrações inferiores a 5% em peso.

As análises foram realizadas inicialmente com a obtenção de imagens por meio do detector BSE, onde a variação composicional foi observada a partir de diferentes tonalidades entre o branco, cinza e preto. Os minerais compostos por elementos com elevado número atômico (Z) apresentavam em tons mais claros. Com a região de análise determinada foi utilizado o EDS para obtenção das linhas de emissão correspondente a cada elemento através de um detector de estado sólido de silício e, conseqüente, a identificação da composição do ponto analisado.

Durante a identificação dos minerais foram realizados ajustes na quantificação dos elementos presentes, com o objetivo de melhorar a acuracidade das análises. Seguindo as recomendações de Newbury (2009), que descreve que os picos de caracterização para constituintes menores a traços podem apresentar problemas, esses picos de energia podem ser, por vezes, atribuídos a outros elementos mesmo que não contextualizem com os minerais analisados ou não sejam quantificados. Dentre as principais interferências se destacam os:

- Picos de Escape, onde em um grupo de elementos com energias similares alguns podem perder parte do sinal e não serem caracterizados;

- Picos Coincidentes, onde elementos de mesma energia são considerados em único pico;
- Falsos Picos, que são formados a partir do *background* (um sinal indesejado pois não fornece nenhum dado sobre os elementos presentes na amostra) e podem ser registrados como picos característicos de determinados elementos.

O procedimento para uma análise mais refinada consistiu na identificação automática dos picos, com uma cuidadosa inspeção dos resultados, observando na literatura picos para os minerais estudados e seus elementos presentes. A partir dessa análise foi possível remover os elementos não condizentes com o mineral analisado.

Devido a metalização realizada com carbono e a detecção de elementos a partir de $Z > 4$, os conteúdos de C e H não foram detectados durante as análises em minerais como ancilita, calcita, cancrinita, pirocloro, annita, dentre outros. Posteriormente, em alguns minerais esses valores foram estimados com base em cálculos estequiométricos.

Os minerais com F e Cl, que não combinam com o oxigênio, foram utilizados diretamente nos cálculos das fórmulas estruturais.

II.6. GEOQUÍMICA

Os dados químicos de rocha total obtidos foram utilizados para analisar o comportamento e abundância de determinados elementos químicos identificados e utilizá-los como ferramentas para elucidar o processo evolutivo das rochas em estudo.

II.6.1. Técnicas Utilizadas e Procedimentos de Análise

As dosagens dos elementos foram realizadas no Laboratório Geosol através de Fluorescência de Raios-X, Absorção Atômica, Cálculos Estequiométricos e Elétrodo de Íon Específico. Essas análises foram obtidas em convênio para estudar a PASEBA com a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM).

Os dados obtidos foram organizados em planilhas *Excel*[®] e foram tratados com o *software Geochemical Data Toolkit for Windows*[®] 2.3 desenvolvido por Janoušek *et al.* (2006) onde foram gerados os gráficos de classificação geoquímica, diagramas de variação e a norma CIPW.

II.7. TERMINOLOGIAS TÉCNICAS UTILIZADAS

II.7.1. Critério de Cores nos Esboços Geológicos

Com o objetivo de facilitar o entendimento da geologia abordada nesse estudo, as cores utilizadas nos esboços geológicos apresentados são aquelas adotadas pela *U.S. Geological Survey* (2005) contidas na publicação "*Selection of colors and patterns for geologic maps of the U.S. Geological Survey*".

II.7.2. Nomenclatura das Rochas

A nomenclatura das rochas estudadas foi feita de acordo com as recomendações de Streckeisen (Le Maître *et al.* 1989) para rochas ígneas plutônicas utilizando como base o diagrama APF, onde: A corresponde a feldspato alcalino mais plagioclásio com menos que 5% da molécula de anortita, P corresponde a plagioclásio e F a feldspatóides.

II.7.3. Abreviação dos Nomes dos Minerais

As abreviações utilizadas para identificação dos minerais nas fotomicrografias e imagens do MEV e texto seguiram as recomendações de Whitney & Evans (2010). Nesse volume estão reunidas as principais formas de abreviações minerais. Embora algumas das abreviações ainda não tenham sido reconhecidas pela IMA (International Mineralogical Association).

II.7.4. Cálculo de Fórmula Estrutural

Seguiu-se o procedimento descrito em Deer *et al.* (1992), para o cálculo das formas estruturais minerais, sendo a quantidade de oxigênios e cátions presentes nas fórmulas estando de acordo com os principais pesquisadores e

trabalhos dos referidos minerais onde Deer *et al.* (1992) foi bastante requisitado.

Tabela 2. Minerais com as quantidades de oxigênios e cátions que foram utilizados para o cálculo de sua fórmula estrutural com base em Deer *et al.* (1992) e segundo os autores: 1- Korobeinikov *et al.* (1998); 2- Regui (2001); 3- Andrade (2007); 4- Bellatreccia *et al.* (1998); 5- Bayliss *et al.* (1989); 6- Dunstan & Blake. (1905); 7- Johan & Johan (1994).

Mineral	Nº de Oxigênios	Nº de Cátions
Feldspatos	8	5
Nefelina	32	24
Cancrinita	24	18
Sodalita	24	20
Micas	20	16
Diopsídio	6	4
Calcita	-	-
Estroncionita	-	-
Apatita	25	16
Zircão	4	2
Ilmenita	3	2
Magnetita	4	3
Pirita¹		3
Esfarelita¹		2
Ancilita²	8	2
Pirocloro³	6	4
Monazita	4	2
Baddeleyíta⁴	8	4
Zirconolita⁵	7	4
Torianita⁶	2	1
Hidroxifluoretos⁷	2	1

III. GEOLOGIA REGIONAL

III.1. INTRODUÇÃO

O Estado da Bahia apresenta história geológica complexa, sendo observados diversos ambientes geológicos e associações de rochas. O Cráton do São Francisco (CSF) representa o compartimento geológico mais importante e que ocupa a maior porção da Bahia.

O CSF foi formado durante o Paleoproterozoico onde ocorreram colisões entre quatro mesocontinentes denominados de Gavião (Remanso), Serrinha, Jequié e Uauá, gerando os sistemas orogênicos Itabuna-Salvador-Curaçá e Urandi-Paratinga (Barbosa *et al.* 2012). Segundo Almeida (1977) o CSF foi consolidado em torno de 500 Ma, sendo delimitado pelas faixas de dobramentos marginais (Sergipana, Riacho do Pontal, Rio Preto, Brasília, Alto do Rio Grande e Araçuaí). No intervalo entre essas duas orogêneses, por volta de 1,7 Ga, em sua região meridional desenvolveu-se o aulacógeno do Paramirim, no qual se depositaram as rochas do Supergrupo Espinhaço, do Proterozoico Médio, e a sedimentação plataformar do Supergrupo São Francisco, do Proterozoico Superior, ambos deformados anteriores ao Ciclo Orográfico Brasileiro.

Os primeiros relatos sobre rochas alcalinas na Bahia foram realizados por Fujimori (1967). Posteriormente, Silva Filho *et al.* (1974) ao realizar o mapeamento geológico regional do Sul do Estado da Bahia reuniram essas rochas alcalinas sob a terminologia de Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia (PASEBA).

A PASEBA (Fig. 1) foi formada a partir do rifteamento Neoproterozoico que coincide com a fragmentação do supercontinente Rodínia (Rosa *et al.* 2007). É intrusiva nos terrenos do Cráton do São Francisco e da Faixa de Dobramentos Araçuaí.

III.2. EMBASAMENTO

O embasamento da PASEBA é constituído por duas unidades metamórficas distintas, delimitadas pela Falha Planalto-Potiraguá de direção NW-SE. Essa falha é tida como resultante da formação do *Rift* Paramirim no

Mesoproterozoico (Motta *et al.* 1981). Na parte sudoeste dessa falha encontra-se o Complexo Itapetinga e a nordeste tem-se os terrenos pertencentes ao Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá.

Na área de abrangência da PASEBA, além do sistema de falhas Planalto-Potiraguá, ocorre a Zona de Cisalhamento Itabuna-Itajú do Colônia, instalada durante o final do Paleoproterozoico (Mascarenhas & Garcia 1989), com orientação NE-SW.

Segundo vários autores citados em Martins & Santos (1997), as rochas do embasamento apresentam características geoquímicas de séries magmáticas tipos TTG, cálcio-alcálica, toleítica e shoshonítica. E, nesse mesmo contexto, o metamorfismo mais intenso dessa região é tido como ocorrido entre 2200 e 2000 Ma.

III.2.1. Complexo Itapetinga

Anteriormente denominado de Complexo Caraíba-Paramirim (Lima *et al.* 1981), trata-se, essencialmente, de terrenos gnáissico-migmatíticos antigos que, a partir das suas paragêneses minerais podem ser interpretadas como submetidas à Fácies Anfíbolito (Barbosa & Dominguez 1996). Esta unidade exhibe contatos tectônicos com o Complexo Ibicuí-Ipiaú e Macaúbas, e discordante/tectônico com as rochas metassedimentares do Grupo Rio Pardo (Moraes Filho *et al.* 2007).

A partir de análises químicas obtidas por Rosa *et al.* (2004) foi possível constatar as afinidades geoquímicas deste complexo com as suítes do tipo TTG, como aquelas descritas para os núcleos arqueanos do Cráton do São Francisco (Cruz Filho *et al.* 2003).

Segundo Paixão (2008) os gnaisses-migmatíticos são compostos por sienogranitos, monzogranitos e álcali-feldspato granitos, comumente apresentando coloração cinza, com faixas esverdeadas e com granulação média a grossa, sendo possível observar nos afloramentos dobras intrafoliares e dobras isoclinais. Ocorrem também rochas supracrustais, sobretudo quartzíticas, que se apresentam quase sempre associadas a rochas metabásicas e metaultrabásicas (Moraes Filho & Lima 2007). A idade U-Pb de cerca de 2,1

Ga é descrita no mapa geológico e de recursos minerais do projeto Itapetinga-Canavieira (Moraes Filho *et al.* 2007).

III.2.2. Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá

Compreende uma faixa contínua formada durante o Paleoproterozoico através do choque de massas continentais, e sua extensão vai desde a porção norte até a porção sul do estado da Bahia. Pode ser dividido em dois segmentos, um para norte que atende pelo nome de Orógeno Salvador-Curaçá (Oliveira *et al.* 1999) e um para sul denominado de Cinturão Granulítico de Itabuna (Figueiredo 1989). Na sua porção meridional, está situado entre o núcleo arqueano de Jequié e o Oceano Atlântico, e na sua parte setentrional, o ramo interior está confinado entre os blocos arqueanos Gavião, a oeste e Serrinha, a leste.

Esse orógeno é formado por rochas metamórficas de alto grau, essencialmente granulitos, que apresentam composição intermediária à ácida, encontrando-se intensamente deformadas. Ele é interpretado como um arco magmático, onde foram identificadas nas rochas afinidades a suítes toleítica, cálcio-alcalina e shoshonítica, tendo ainda contribuições subordinadas de rochas supracrustais (Martins & Santos 1993).

A sua história evolutiva tem sido estruturada em três estágios, sendo o primeiro e principal deles a formação de um arco magmático com toda a sua diversidade litológica e estrutural, a segunda etapa consistiu na intrusão de rochas de filiação shoshonítica a alcalina e o estágio final foi o sistema colisional que promoveu o metamorfismo (Figueiredo 1989; Barbosa 1990).

Esse orógeno é constituído por diversos terrenos, com idades e evoluções diferentes e apresenta grande importância para o setor de exploração mineral da Bahia devido ao seu potencial metalogenético, compreendendo importantes depósitos de Cu (Mina de Caraíba), Cr (Nas minas de Medrado, Santa Luz e Campo formoso) e Au (Jacobina e Fazenda Brasileiro).

III.3. DIQUES

Os diques ocorrem segundo direções preferenciais de N50°-N40°, sendo paralelos à grandes estruturas da região como a zona de cisalhamento de Itabuna-Itajú do Colônia e perpendiculares a linha de costa, sendo os seus mergulhos sub-verticais (Lima *et al.* 1981). Cortam a maioria das rochas da província, desde o embasamento paleoproterozoico, metassedimentos e as rochas alcalinas.

Esses corpos preenchem fraturas distensivas na encaixante granulítica, sendo que por vezes, eles podem conter xenólitos dos ortognaisses granulíticos do embasamento. Apresentam dimensões variáveis, com suas espessuras variando desde centímetros até cerca de 3 metros e sua extensão chegando até 100 metros.

São observados três grupos de diques distintos (Corrêa Gomes *et al.* 1996):

- Província de Diques Metamórficos: Representam os corpos filonianos mais antigos, estando distribuídos por toda a região. Apresentam composição anfibolítica com idades em torno de 2,0 a 1,8 Ga.
- Província Litorânea: Os diques apresentam composições toleíticas à alcalinas que datam do Mesoproterozoico, sendo as suas idades através do método Ar-Ar compreendidas, segundo Renné *et al.* (1990), entre 920 e 1100 Ma. Possuem formas retilíneas, angulosas e presença de bordas de resfriamentos que atestam o caráter rasos de suas colocações.
- Província de Itabuna-Itajú do Colônia: Os diques possuem composições félsicas a máficas alcalinas com idades entre 450 a 650 Ma (Lima *et al.* 1981) sendo alojados em condições crustais rasas.

III.4. GRUPO RIO PARDO

As rochas metassedimentares do Grupo Rio Pardo ocorrem delimitadas por falhas e de acordo com Pedreira (1999) foram formadas a partir de um sistema *pull-apart* e suas idades são atribuídas entre o Mesoproterozoico e o Neoproterozoico. Esse grupo é formado por rochas metassedimentares pelítico-

carbonáticas, sendo reconhecidas as formações Panelinha, Camacã, Salobro, Água Preta, Serra do Paraíso e Santa Maria Eterna, da base para o topo respectivamente. O metamorfismo de baixo grau e a deformação pós-colisional foram gerados a partir das colisões na Faixa Araçuá durante o Brasiliano (Pedreira 1999). Por estar contido no limite entre o Cráton do São Francisco e o Orógeno Araçuá constitui um terreno de alta relevância para o entendimento da evolução tectônica de ambos.

III.5. ROCHAS ALCALINAS

Os corpos da PASEBA encontram-se dispostos através de um alinhamento regional NE-SW de 200 km que distribui-se por uma área de 12.500 km² (Fig. 1), sendo os limites geográficos a cidade de Ilhéus nas proximidades do litoral e a cidade de Itarantim na divisa com Minas Gerais. Essas intrusões correspondem a batólitos, *stocks* e diques cujas composições variam entre granitos, *foi*d sienitos, litchfielditos e rochas hipoabissais do tipo tinguaítos, havendo predomínio de rochas sub-saturadas em grande parte dos corpos. A província é composta por cerca de 20 corpos, dos quais se destacam os batólitos Itabuna, Serra das Araras, Itarantim, e o Complexo Alcalino Floresta Azul.

A PASEBA é formada por rochas miasquíticas intermediárias, gabros e dioritos são observados ao longo da província de forma modesta Conceição *et al.* (1992).

Segundo Rosa *et al.* (2003a, 2003c, 2004, 2005a, 2007) as intrusões apresentam idades compreendidas entre 739 e 676 Ma, sendo que os corpos mais jovens se encontram na porção norte da província.

A disposição tectônica regional na colocação destes corpos foi atribuída por Mascarenhas & Garcia (1989) como controlada por falhas antigas e profundas que estão relacionadas à tectônica entre o Paleoproterozoico e o Neoproterozoico. Os contatos bruscos entre as rochas alcalinas e o embasamento inferem que durante a inserção dos magmas ocorreu um grande contraste térmico, sendo as câmaras situadas em torno de 6 a 8 km de profundidade (Rosa *et al.* 2005b).

III.6. BACIAS SEDIMENTARES E COBERTURA SUPERFICIAL

As rochas e sedimentos com idades mais recentes são encontradas nas bacias mesozoicas do Rio Almada e Recôncavo Sul, que ocorrem na região sob a forma de faixas estreitas e descontínuas.

A cobertura superficial segundo Silva Filho *et al.* (1974) é composta por sedimentos inconsolidados imaturos, sendo a fração areia a granulação dominante, mas com ocorrência de níveis conglomeráticos e argilosos. Os depósitos são de caráter aluvial, formados nas planícies de inundação dos principais rios da região. Estão situadas preferencialmente na porção litorânea, ocorrendo de forma pouco expressiva na maior parte da área.

IV. GEOLOGIA LOCAL

IV.1. INTRODUÇÃO

O Complexo Alcalino Floresta Azul está localizado na parte norte da PASEBA e tem área com cerca de 200 km² (Fig. 2), tendo como embasamento os terrenos granulíticos do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá.

O CAFA apresenta contatos bruscos com as encaixantes, com frequência em forma de apófises, contém xenólitos dessas encaixantes e, por vezes, são descritas áreas fenitizadas (Martins & Santos 1993).

Segundo Rosa *et al.* (2003a) no CAFA coexistem duas intrusões distintas separadas por uma falha. Uma delas de composição granítica está situada a leste, e a outra de composição *foia* sienítica localiza-se a oeste (Fig. 2).

IV.2. EMBASAMENTO

O embasamento do CAFA é formado pelos granulitos do Domínio Rio do Ouro-Almadina. Ele é limitado pelo Domínio Firmino Alves-Ibitupã, a oeste através da Zona de Cisalhamento Ponto do Astério-Ibitupã, e pelo Domínio Coaraci-Itabuna, a leste pela Zona de Cisalhamento Ibicaraí-Coaraci. Os seus terrenos foram reunidos em dois complexos, Ibicaraí-Buerarema e Almadina, devido as suas diferenças litológicas.

O texto apresentado a seguir teve como fonte principal os escritos do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB) – Folha Ibicaraí (Martins & Santos 1997).

IV.2.1. Complexo Ibicaraí-Buerarema

Esse complexo ocupa a maior parte do Domínio Rio do Ouro-Almadina e envolve todo o CAFA. É constituído por rochas ortoderivadas com variados graus de deformação e correspondem essencialmente a uma associação tonalítica-trondhjemítica-granodiorítica.

A região sofreu ao longo do tempo geológico retrometamorfismo nas condições das fácies Anfíbolito e Xisto-Verde. Os termos charnoquíticos apresentam minerais máficos orientados de acordo com a foliação preferencial

do metamorfismo. Em alguns anortositos presentes são descritos vestígios do acamadamento ígneo original.

IV.2.2. Complexo Almadina

O Complexo Almandina apresenta-se como faixas alongadas em contato com o CAFA (Fig. 2), sendo constituído por rochas supracrustais predominantemente metassedimentares, incluindo a presença de kinzigitos, quartzitos, rochas cálcio-silicáticas e mármore. Os termos ígneos são formados por rochas metabásicas gabróicas e piroxeníticas com intercalações de metatufos.

Os gnaisses aluminosos granulíticos são o tipo dominante. Nas paragéneses metamórficas encontradas tem destaque a ocorrência de safirina, que, por sua vez, apresenta um registro raríssimo.

Os quartzitos encontram-se deformados e intemperizados (presença de material argiloso).

As rochas cálcio-silicáticas ocorrem em contato com os mármore, quartzitos e intercalações com metagabros e metapiroxenitos, as suas texturas são inequigranulares ou poligonizadas.

Os mármore por sua vez ocorrem subordinadamente às rochas supracrustais, apresentam textura de mosaico inequigranular com contatos curvos e manchas devido às concentrações de máficos como o diopsídio.

IV.3. COMPLEXO ALCALINO FLORESTA AZUL

IV.3.1. Intrusão Granítica

Apresenta uma área exposta de 130 km², sendo constituída por granitos e dioritos. Essas rochas exibem excelentes feições de fluxo magmático, evidenciadas pelo alinhamento de prismas de feldspatos e enclaves. Segundo Rosa *et al.* (2003a) os granitos apresentam idade de 696±11 Ma e os dioritos 688±2 Ma, ambos por Pb-Pb.

Os granitos podem apresentar estrutura anisotrópica ou isotrópica e exibem textura fanerítica média, sendo a biotita o mineral máfico dominante.

Os dioritos ocorrem sob a forma de enclaves globulares e elipsoidais e por vezes deformados pelo fluxo magmático. Eles são porfiríticos com fenocristais de hornblenda, biotita e andesina.

As rochas graníticas e dioríticas foram formadas a partir de dois magmas alcalinos distintos (Salinas 2011). O processo de mistura que envolveu os magmas foi o *mingling*, onde ocorre a mistura heterogênea, pois os magmas apresentam viscosidades distintas, e com isso houve a formação da grande quantidade de enclaves máficos.

IV.3.2. Intrusão Sienítica

Está localizada na porção oeste do CAFA com uma área de 70 km². Internamente na ISn tem-se estruturas magmáticas de fluxo, marcada pelo alinhamento de cristais, presença de diques de sienitos e, ocasionalmente, de diques básicos. Correa Gomes (2000) apresenta a idade de 688 ± 10 Ma.

A ISn é constituída por rochas isotrópicas, por vezes anisotrópicas. Na zona periférica os sienitos contém quartzo e à medida que se passa ao centro do corpo aparecem os sienitos com nefelina e na região central tem-se os termos mais sub-saturados, normalmente ocorrendo em bolsões com até 300 m de largura, onde ocorrem sodalita sienitos de cor azul ou mesmo sodalititos; usualmente mineralizados como rochas ornamentais.

Os principais minerais máficos que ocorrem nessas rochas são biotita, anfibólio alcalino e aegirina de forma subordinada.

Os sienitos com feldspatóides nefelina, sodalita e cancrinita são observados com uma textura fanerítica grossa a pegmatítica e suas composições variam desde nefelina sodalita sienitos, sodalita sienitos até sodalititos. Nestas rochas é comum que a nefelina ocorra nos interstícios formados pelos prismas de feldspato alcalino perítico. Os cristais de sodalita, por sua vez, como ocorre em outros corpos da PASEBA (Rosa *et al.* 2007) são formados a partir da destabilização da nefelina (Fig. 6), e ambos alteram-se para cancrinita, carbonato e mica branca.

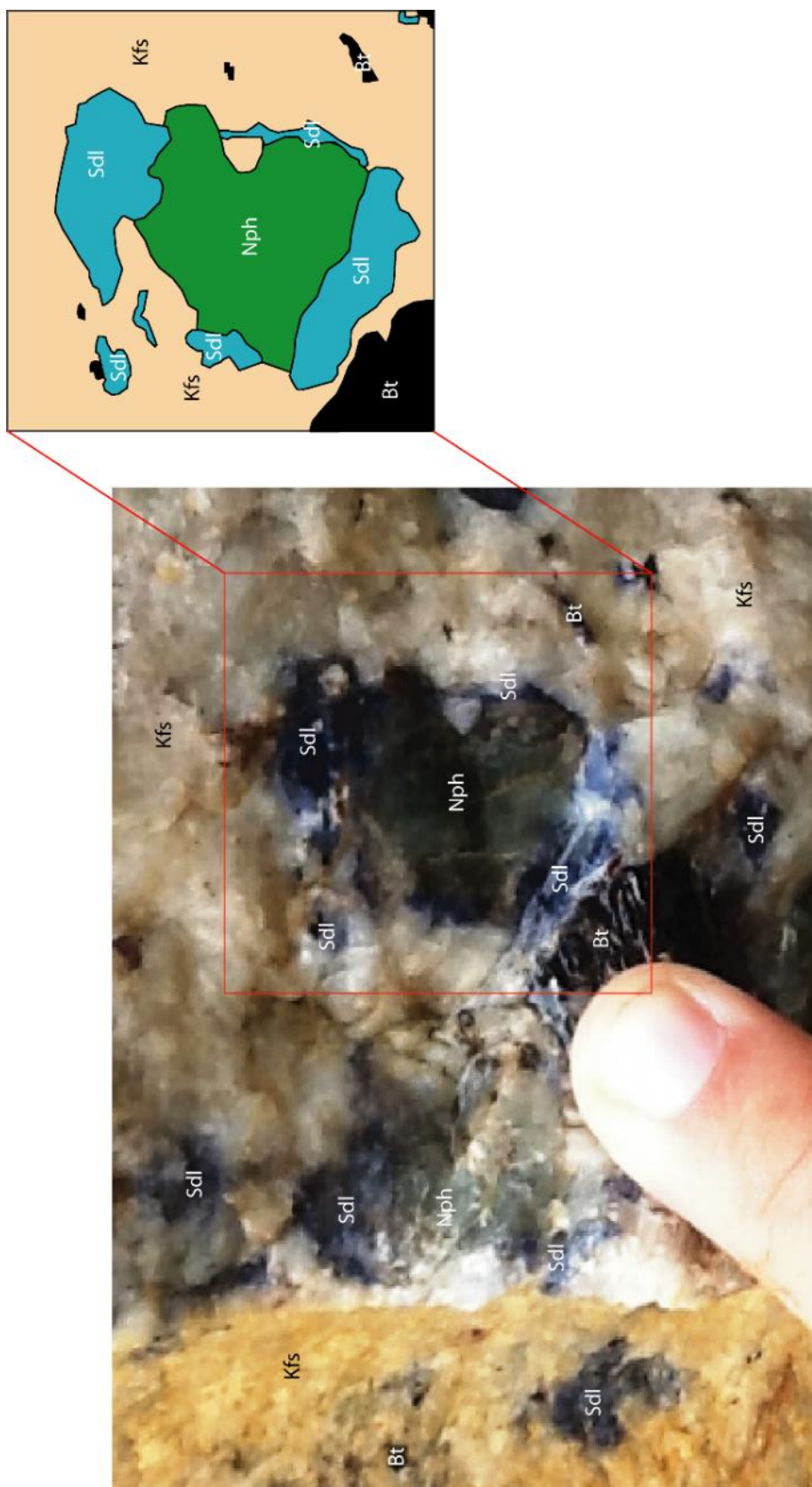


Figura 6. Sienito do CAFA composto por feldspato alcalino (Kfs), nefelina de cor verde (Nph), sodalita (Sdl) e biotita (Bt), onde pode-se observar um cristal de Nph corado por Sdl em sua borda (quadrado vermelho) sendo melhor evidenciado no *croqui*.

V. PETROGRAFIA

V.1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho foram realizadas descrições petrográficas de 19 lâminas, sendo que 14 delas correspondem a rochas sub-saturadas e 5 são das rochas encaixantes. As rochas da ISn pertencentes a porção sub-saturada foram distribuídas em 4 fácies petrográficas: Annita *Foid* Sienito, *Foid* Sienito, *Foid* Sienito Porfirítico e Álcali Sienito (Tab. 3). A distinção entre as fácies foi feita levando-se em consideração as texturas encontradas, já que todas as rochas contidas nessas fácies são sienitos com feldspatóides (Fig. 7). Por sua vez, as rochas encaixantes que estão em contato com os sienitos foram designadas nas fácies Fenito e Embasamento.

A nomenclatura das fácies foi estabelecida de acordo com as peculiaridades observadas em cada uma delas, bem como ocorrência mineral, assembléia mineral característica e também os seus elementos texturais mais específicos. Embora essas rochas tenham sido distribuídas em fácies, elas não puderam ser representadas em mapa, sendo observado apenas na sua parte central da ISn distinção da área onde são encontrados bolsões de sodalita sienitos a sodalitos (Fig. 2). Nessa região encontram-se várias pedreiras de exploração desta rocha para fins ornamentais.

As rochas do complexo alcalino de uma maneira geral apresentam uma granulação de média a grossa, exibindo estrutura isotrópica, sendo que, localmente é observada orientação por fluxo magmático.

Durante as descrições foram observados diversos minerais diminutos que devido a suas dimensões reduzidas não puderam ser identificados com a descrição petrográfica clássica. Assim sendo, as lâminas delgado-polidas tiveram regiões previamente demarcadas e seus minerais identificados através do MEV. No texto da petrografia quando cita os minerais identificados e observações com o MEV acrescentou-se asterisco (*). As suas descrições e características serão apresentadas no capítulo de química mineral, mas já serão considerados na petrografia como uma forma de organizar a ocorrência dos minerais e elucidar a ordem de cristalização.

Tabela 3. Divisão das amostras de acordo com as fácies petrográficas

Fácies	Número das Amostras
Annita <i>Foid</i> Sienito	2098, 2173, 2174, 2176, 2177, 2195, 2197, 2199
<i>Foid</i> Sienito	2175, 2198, 2200
<i>Foid</i> Sienito Porfirítico	2201, 2202A
Álcali Sienito	2204
Fenito	2206, 2202B
Embasamento	2205, 2208, 2209

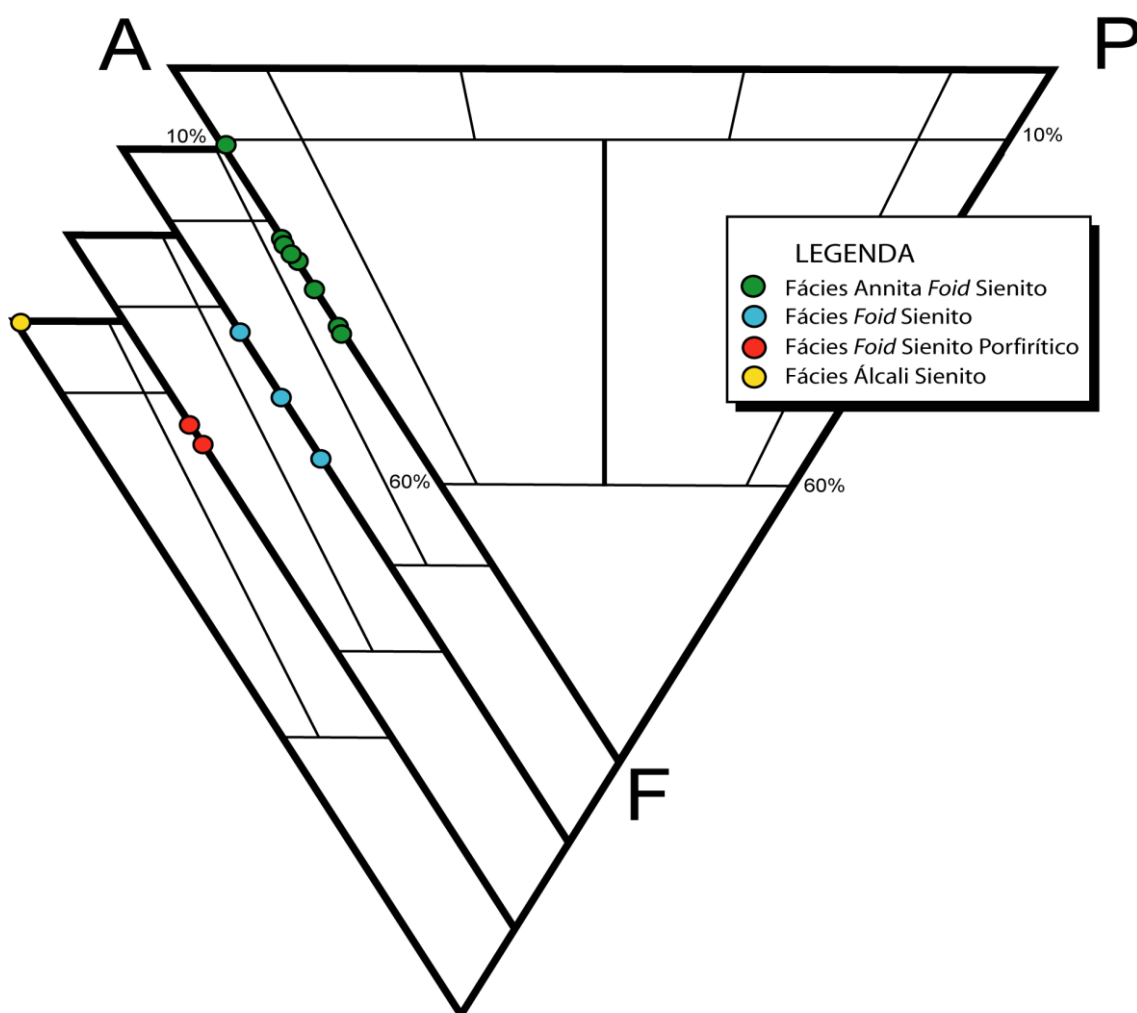


Figura 7. Classificação das rochas sub-saturadas, com base nos dados modais, segundo os critérios estabelecidos por Streckeisen (1973). Feldspatóide (F); Plagioclásio [$>5\%$ An] (P); e Feldspato Alcalin, Microclínio + Albíta [$5\% < \text{An}$] (A).

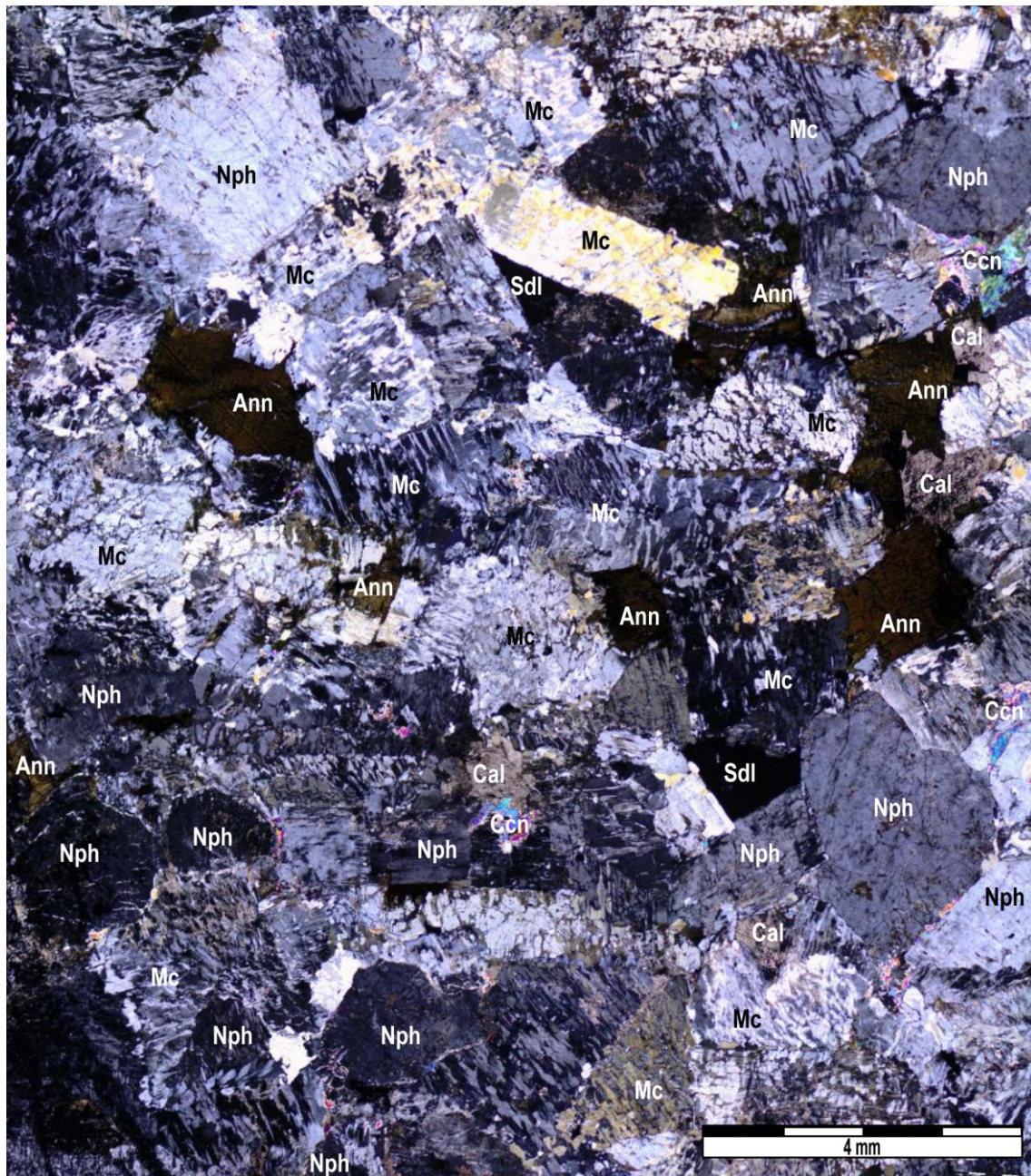
V.2. FÁCIES ANNITA *FOID* SIENITO

Essa fácies é composta por sienitos, com granulação média a grossa que apresentam texturas inequigranular e hipidiomórfica (Fotomicrografia.1), sendo possível observar nessas rochas uma orientação marcada pelo alinhamento dos prismas de microclínio (Fotomicrografia 2), caracterizando assim uma estrutura anisotrópica devido ao fluxo magmático. A mineralogia (Tab. 4) dessas amostras é constituída por microclínio, nefelina, annita*, cancrinita, sodalita, calcita, minerais opacos (magnetita* e ilmenita*), clorita, albita*, baddeleyíta*, hidroxifluoretos*, monazita*, pirita*, esfarelita*, pirocloro* e torianita*.

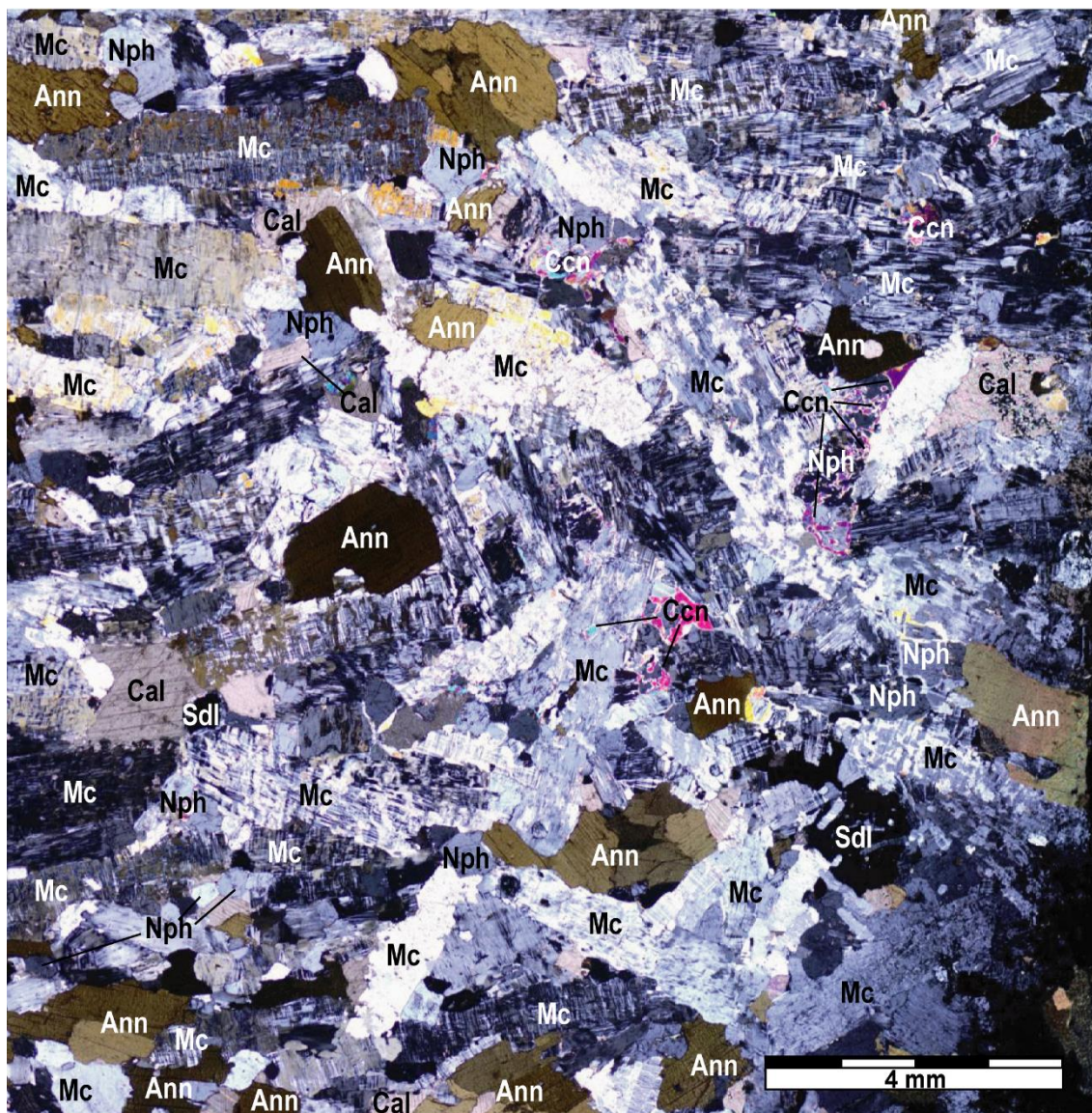
Os conteúdos elevados de annita* vão caracterizar essa fácies. Os cristais de nefelina e principalmente microclínio ocorrem prismáticos. Com relação aos feldspatóides a nefelina é o mais abundante, com a sua substituição para cancrinita sendo observada constantemente, já a sodalita ocorre de forma esporádica.

Tabela 4. Análises modais das amostras da Fácies Annita *Foid* Sienito

MINERAIS (%)	2098	2173	2174	2176	2177	2195	2197	2199
Microclínio	65,0	52,3	52,8	50,3	34,0	62,1	54,3	58,7
Nefelina	18,0	24,0	21,7	12,0	3,5	21,2	27,2	17,5
Annita*	10,0	15,0	21,1	26,8	57,1	10,9	8,0	15,8
Cancrinita	3,0	6,0	2,7	7,7	<0,1	1,5	4,9	0,7
Sodalita	0,7	0,2	-	0,1	0,5	-	1,4	0,3
Calcita	0,3	2,0	1,2	3,1	4,8	3,8	2,9	3,9
M. Opacos	<0,1	0,1	0,3	<0,1	<0,01	0,5	-	-
Clorita	0,2	0,4	0,2	<0,1	0,1	<0,1	-	-
Albita* (An0%)	2,8	-	-	-	-	-	1,3	3,1
Baddeleyíta*	-	-	-	-	-	<0,1	-	-
Hidroxifluoretos*	-	<0,1	-	-	-	-	-	-
Monazita*	<0,1	<0,1	-	-	-	<0,1	-	-
Pirita*	-	-	-	-	-	<0,1	-	-
Esfarelita*	<0,1	-	-	-	-	<0,1	-	-
Pirocloro*	-	-	-	-	-	<0,1	-	-
Torianita*	-	-	-	-	-	<0,1	-	-



Fotomicrografia 1. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2195. Nessa imagem tem-se os seguintes minerais presentes: microclínio (Mc), nefelina (Nph), annita* (Ann), cancrinita (Ccn), sodalita (Sdl) e calcita (Cal). A imagem permite igualmente visualizar a granulação grossa dessa rocha, com cristais de tamanho variando entre 4 mm a 0,1 mm dominando aqueles com tamanho de 1,5 mm. Observa-se que os cristais são hipidiomórficos e estão organizados em uma estrutura isotrópica. Os cristais de Mc apresentam exsoluções com geometria do tipo flâmula ou bastão. Por vezes nas bordas dos cristais de Nph pode ser visto a alteração para Ccn, as fraturas dos cristais de Mc podem estar preenchidas por Cal. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.



Fotomicrografia 2. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2199. Nessa imagem tem-se os seguintes minerais presentes: microclínio (Mc), nefelina (Nph), annita (Ann), sodalita (Sdl), cancrinita (Ccn), calcita (Cal) e minerais opacos (Opq). A imagem permite igualmente se visualizar a granulação grossa dessa rocha com tamanhos entre 5 mm e 0,1 mm havendo predomínio dos cristais com cerca de 2,5 mm. Observa-se que os cristais são hipidiomórficos e estão organizados em uma estrutura anisotrópica. Os prismas de Mc encontram-se orientados evidenciando um possível fluxo magmático, os cristais de Nph encontram-se em processo de alteração para cancrinita. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.

Os cristais de microclínio ocorrem de forma subédrica a euédrica, sendo que os cristais anédricos ocorrem com uma menor granulação. Os seus tamanhos variam entre 0,11 mm a 9,7 mm. Encontram-se geminados segundo as leis Albita-Periclina e Carlsbad, os indivíduos geminados mostram-se com formas regulares e encontram-se bem distribuídos nos cristais. Eles apresentam textura pertítica e as exsoluções mostram geometria do tipo flâmula, bastão (Fotomicrografia. 1) ou ocorrem zonadas. Os contatos são retos entre os seus cristais, com annita* e nefelina e irregulares com os cristais de nefelina, sodalita, annita*, cancrinita e calcita. As fraturas presentes são por vezes, preenchidas por calcita ou annita*. Inclui cristais de: minerais opacos, anédricos com tamanho predominantemente de 0,13 mm e que se posicionam no centro; annita* anédricos distribuídos aleatoriamente nos cristais com os seus tamanhos em torno de 0,16 mm.

Os cristais de nefelina são subédricos e, por vezes, anédricos. Os seus tamanhos variam entre 0,13 mm a 4,68 mm. Os seus contatos são retos com microclínio e irregulares com o próprio microclínio, cancrinita, calcita e annita*. Alguns dos cristais ocupam os espaços entre os prismas de microclínio, mas preferencialmente ocorre sob a forma de prismas. Inclui cristais: subédricos de microclínio na borda com tamanhos em torno de 0,9 mm; anédricos de minerais opacos, com tamanhos em torno de 0,15 mm em suas bordas. Altera-se para cancrinita na periferia e em fraturas e clivagens (Fotomicrografia. 1).

Os cristais de annita* apresentam-se com cor marrom, pleocroísmo variando de amarelo a marrom escuro. Eles mostram formas subédrica a anédrica com tamanhos variando entre 0,07 mm a 11,5 mm. Os seus contatos são retos com microclínio e são irregulares com nefelina, cancrinita, calcita, clorita e minerais opacos. Por vezes pode ser observada entre interstícios dos prismas de nefelina e microclínio e suas formas irregulares esporadicamente apresentam formas alongadas que preenchem fraturas. Ocasionalmente apresentam suas fraturas preenchidas por calcita. Altera-se para clorita principalmente nas bordas (Fotomicrografia. 3).

A cancrinita exibe forma anédrica, com tamanhos variando entre 0,04 mm a 3,8 mm. Quanto aos seus contatos são irregulares com nefelina, microclínio, sodalita, annita* e calcita.

A sodalita se dispõe anédrica, com tamanhos variando de 0,09 mm a 2,3 mm. Seus contatos são irregulares com microclínio, nefelina, cancrinita, annita* e calcita. Por vezes, ocupa intertícios dos prismas de microclínio.

A calcita ocorre de forma anédrica, com tamanhos variando entre 0,07 mm a 2,5 mm. Normalmente ocorre intersticial. Os seus contatos são irregulares com os cristais de microclínio, nefelina, cancrinita, annita*, sodalita, clorita e minerais opacos.

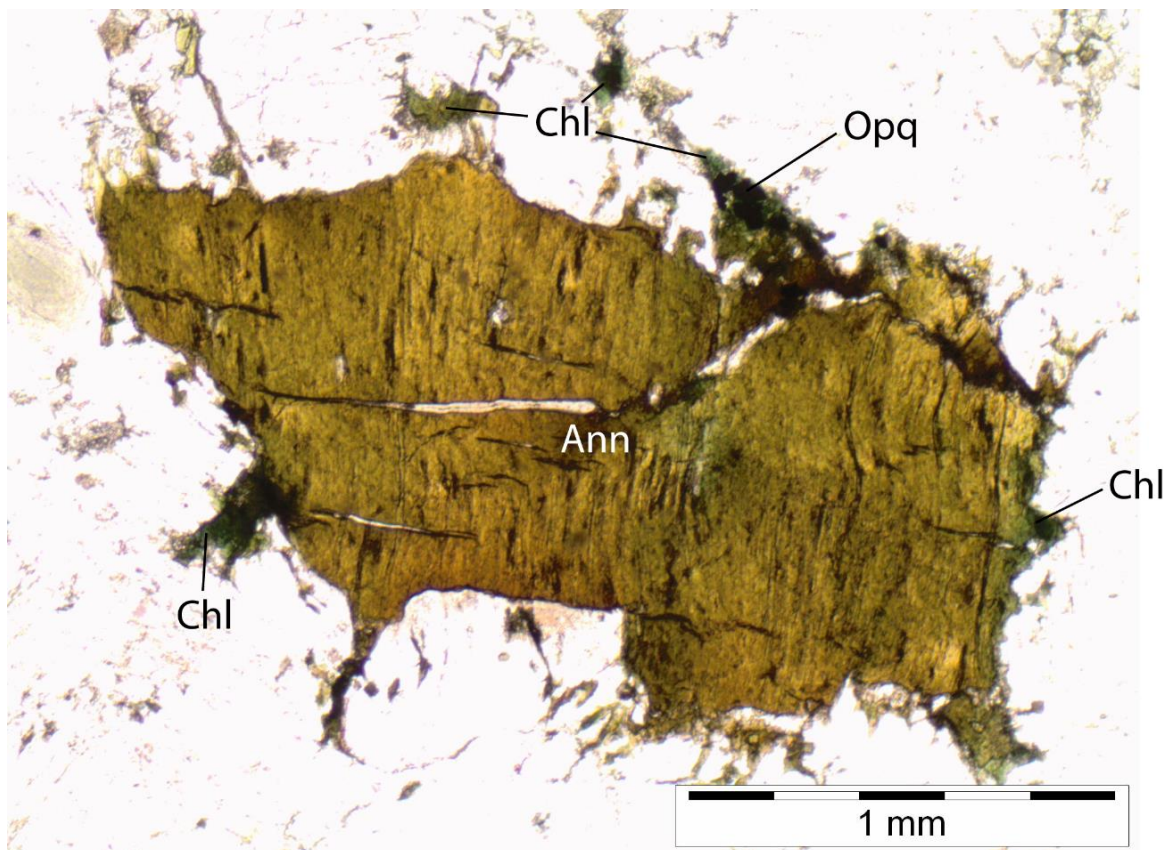
Os minerais opacos apresentam-se como cristais subédricos a anédricos, com tamanhos variando entre 0,07 mm a 1,46 mm. Os seus contatos são irregulares com microclínio, nefelina, cancrinita, calcita e principalmente com annita* e clorita a quem ocorre associado (Fotomicrografia. 3).

Os cristais de clorita ocorrem com cor verde e o pleocroísmo varia de verde a verde escuro. Ocorre de forma anédrica, com tamanhos variando entre 0,02 mm a 0,9 mm. Os contatos são irregulares com microclínio, cancrinita, nefelina, annita* e minerais opacos. Eles mostram-se intimamente associados aos cristais de annita*.

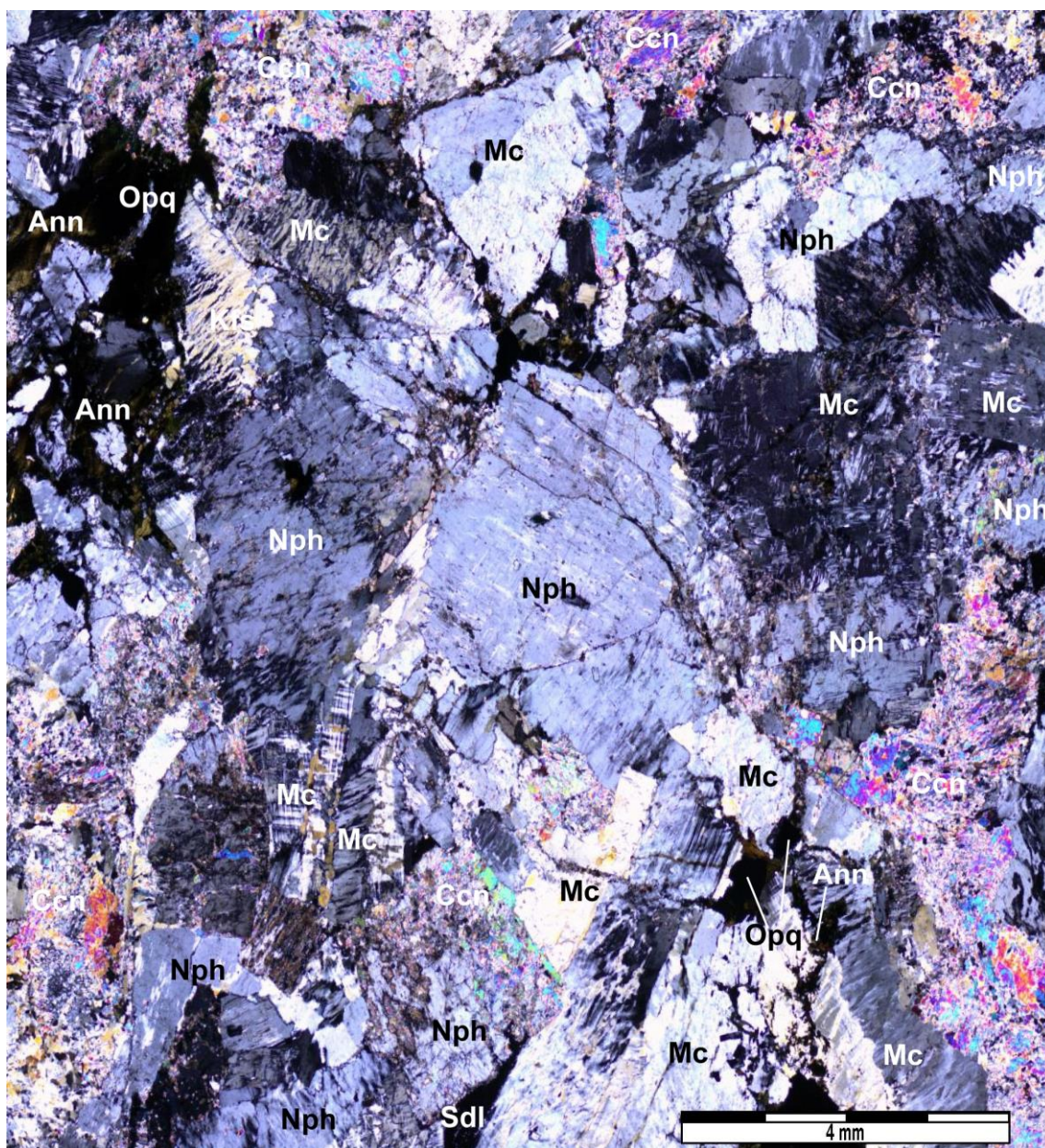
A albita* ocorre como exsolução a partir do microclínio, os seus tamanhos variam de 0,1 mm a 1,8 mm. Alguns cristais encontram-se geminados segundo a Lei Albita, e os indivíduos que compõem a geminação apresentam-se de forma irregular. Mostram contatos retos com nefelina e sodalita e irregulares com microclínio.

V.3. FÁCIES *FOID* SIENITO

Essa fácies é composta por sienitos de granulação grossa, com texturas (Fotomicrografia 4) inequigranular, allotriomórfica e hipidiomórfica. Com relação a estrutura é caracterizada como isotrópica. A sua mineralogia (Tab. 5) é constituída por microclínio, nefelina, cancrinita, annita*, sodalita, calcita, albita*, minerais opacos (magnetita*), clorita, ancilita*, baddeleyíta*, hidroxifluoretos*, monazita*, pirita* e pirocloro*.



Fotomicrografia 3. Imagem da amostra 2195 apresentando um cristal de annita* (Ann). As tonalidades esverdeadas observadas em algumas partes do cristal correspondem à alteração da annita* (Ann) para clorita (Chl), havendo a liberação de minerais opacos (Opq). Essa imagem foi obtida na escala de 40X (ocular de 10x e objetiva de 4X). Observação realizada em luz plano polarizada.



Fotomicrografia 4. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2198. Nessa imagem tem-se os seguintes minerais presentes: microclínio (Mc), nefelina (Nph), annita* (Ann), cancrinita (Ccn), sodalita (Sdl), calcita (Cal) e minerais opacos (Opq). A imagem permite igualmente se visualizar a granulação grossa dessa rocha, com tamanhos dos cristais variando entre 4 mm e 0,1 mm, com predomínio dos cristais maiores. Observa-se que os seus cristais são hipidiomórficos e estão organizados em uma estrutura isotrópica. Os Opq ocorrem associados a Ann, a Ccn ocorre em grandes volumes indicando uma maior alteração da Nph. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.

Tabela 5. Análises modais para as amostras da Fácies *Foid* Sienito. Minerais Opacos (M.Opacos).

MINERAIS (%)	2175	2198	2200
Microclínio	73,3	60,4	51,8
Nefelina	15,5	9,8	37,9
Cancrinita	4,6	18,5	3,5
Annita*	1,1	3,1	3,2
Sodalita	5,5	4,6	2,3
Albita*(An0%)	-	1,3	0,4
Calcita	-	1,2	0,9
M. Opacos	-	0,6	<0,1
Clorita	-	0,5	-
Ancilita*	-	-	<0,1
Baddeleyita*	-	-	<0,1
Hidroxifluoretos*	-	-	<0,1
Monazita*	-	-	<0,1
Pirita*	-	-	<0,1
Pirocloro*	-	-	<0,1

Representa a fácies onde ocorrem os maiores volumes de feldspatóides, sendo a nefelina o predominante, seguido pela cancrinita. O microclínio e a nefelina também ocorrem dispostos sob a forma de prismas e annita* mesmo que em volume pouco expressivo ainda representa o mineral máfico dominante.

Os cristais de microclínio ocorrem de forma anédrica e, por vezes, subédrica. Os seus tamanhos variam de 0,13 mm a 8,85 mm. Encontram-se geminados segundo as leis Albita-Periclina e Carlsbad, os indivíduos geminados mostram-se com formas regulares e encontram-se tanto bem quanto mal distribuídos nos cristais. Apresenta textura pertítica e as exsoluções encontram-se na forma de flâmulas, bastões ou placas. Os contatos próprios são retos e os irregulares são com cancrinita, calcita, nefelina, annita* e sodalita. Inclui cristais de: annita* anédricos, no centro e nas bordas com tamanhos em torno de 0,13 mm; e minerais opacos anédricos a subédricos no centro com cerca de 0,38 mm. Apresenta fraturas e clivagens preenchidas por calcita e, esporadicamente, por sodalita.

A nefelina ocorre de forma anédrica a subédrica com tamanhos variando entre 0,22 mm e 8,46 mm. Os contatos são irregulares com os cristais de

annita*, microclínio, calcita e cancrinita. Inclui cristais de microclínio anédricos, com tamanhos com cerca de 0,2 mm em suas bordas. Altera-se para cancrinita no centro e principalmente nas bordas.

Os cristais de cancrinita ocorrem de forma anédrica, com tamanhos variando entre 0,02 mm e 2,11 mm, predominando os cristais em torno de 0,1 mm. Os seus contatos são irregulares com nefelina, microclínio, calcita, annita* e sodalita.

A annita* exibe cor marrom e o seu pleocroismo varia de amarelo a marrom. Os cristais são subédricos a anédricos, com tamanhos variando entre 0,09 mm a 2,8 mm. Eles exibem contatos irregulares com microclínio, nefelina, sodalita, cancrinita, clorita e minerais opacos. Inclui cristais de minerais opacos subédricos com tamanhos em torno de 0,09 mm. Altera-se usualmente para clorita na periferia. As fraturas encontram-se preenchidas por calcita.

Os cristais de sodalita são anédricos e eles ou seus agregados mostram tamanhos variando entre 0,11 mm e 1,93 mm. Os contatos são irregulares com os cristais de microclínio, annita*, nefelina, calcita e cancrinita. Por vezes, ocupa intertícios dos prismas de microclínio.

A albita* apresenta-se como cristais anédricos a subédricos com tamanhos variando entre 0,13 mm a 0,8 mm. Os contatos são irregulares com microclínio, nefelina, sodalita, calcita e cancrinita.

A calcita apresenta forma anédrica e, por vezes, subédrica com tamanhos variando entre 0,07 mm a 1,8 mm. Os contatos são irregulares com microclínio, annita*, sodalita, nefelina e cancrinita.

Os minerais opacos apresentam-se como cristais subédricos a anédricos, com tamanhos variando entre 0,04 mm a 1,02 mm. Os contatos são irregulares com cancrinita e principalmente com annita*, mas possui também contatos retos com microclínio.

A clorita apresenta-se com cor verde e fraco pleocroismo. Os cristais são anédricos, com tamanhos variando entre 0,02 mm e 0,45 mm. Mostram contatos irregulares com annita*, minerais opacos, cancrinita e microclínio.

V.4. FÁCIES *FOID* SIENITO PORFIRÍTICO

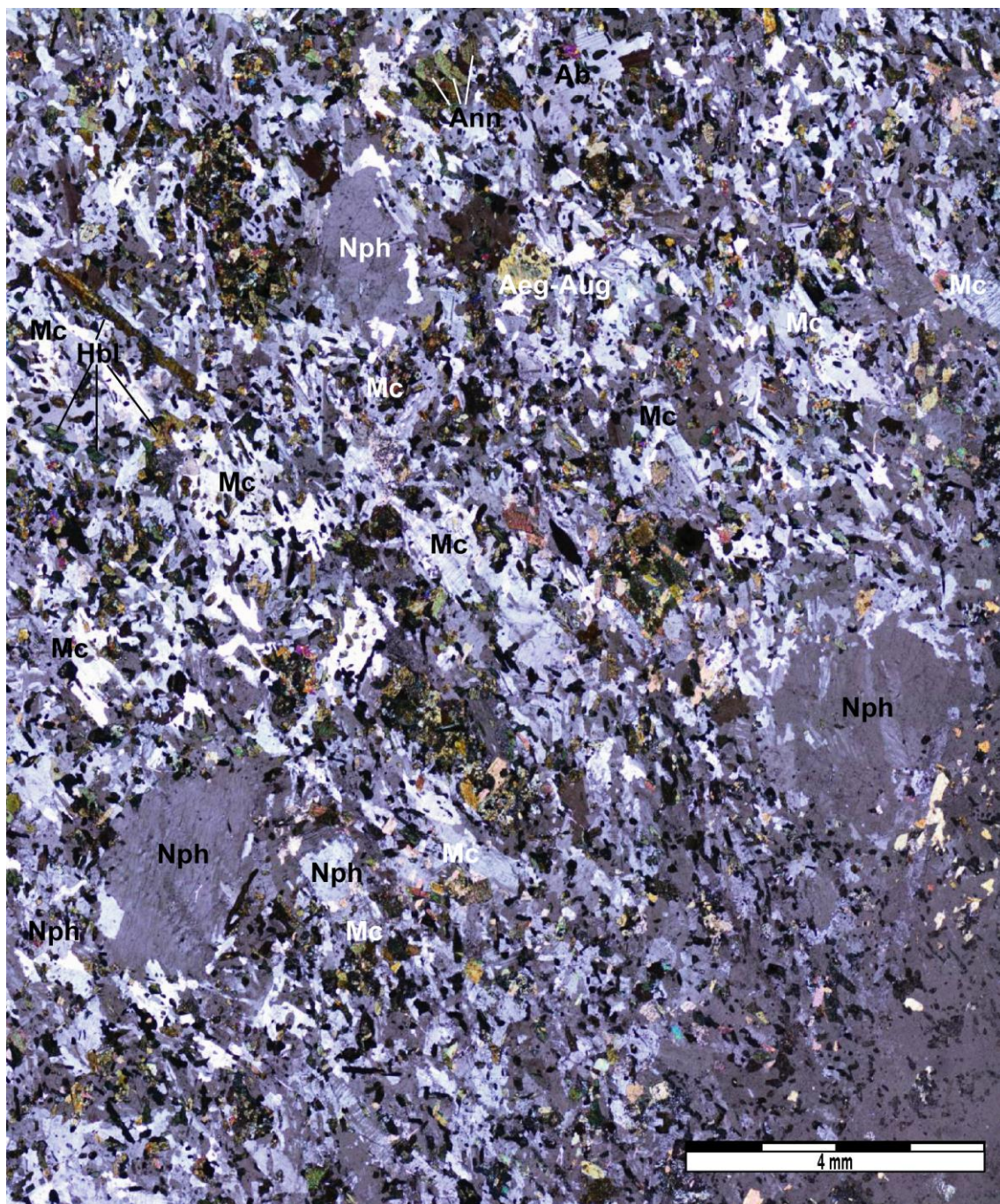
É formada por rochas com granulação média a fina, sendo a amostra 2201 porfirítica (Fotomicrografia. 5), juntamente com a amostra 2202A (Fotomicrografia. 6) que apresenta o maior conteúdo de sodalita entre todas as amostras estudadas. Essas rochas exibem texturas inequigranular, allotriomórfica e apresentam estrutura isotrópica. A mineralogia presente é composta por microclínio, albita, nefelina, cancrinita, sodalita, annita, hornblenda, aegirina-augita, calcita, minerais opacos e clorita tendo como minerais acessórios apatita, titanita, allanita e zircão (Tab. 6).

As rochas descritas apresentam uma mineralogia relativamente distinta com relação as fácies anteriores, sendo observado uma maior variedade de minerais máficos e uma maior abundância de sodalita. Mais um contraste observado nessa fácies é o aspecto de reação, onde os minerais ocorrem anédricos e por vezes apresentam sobrecrecimentos de novas fases.

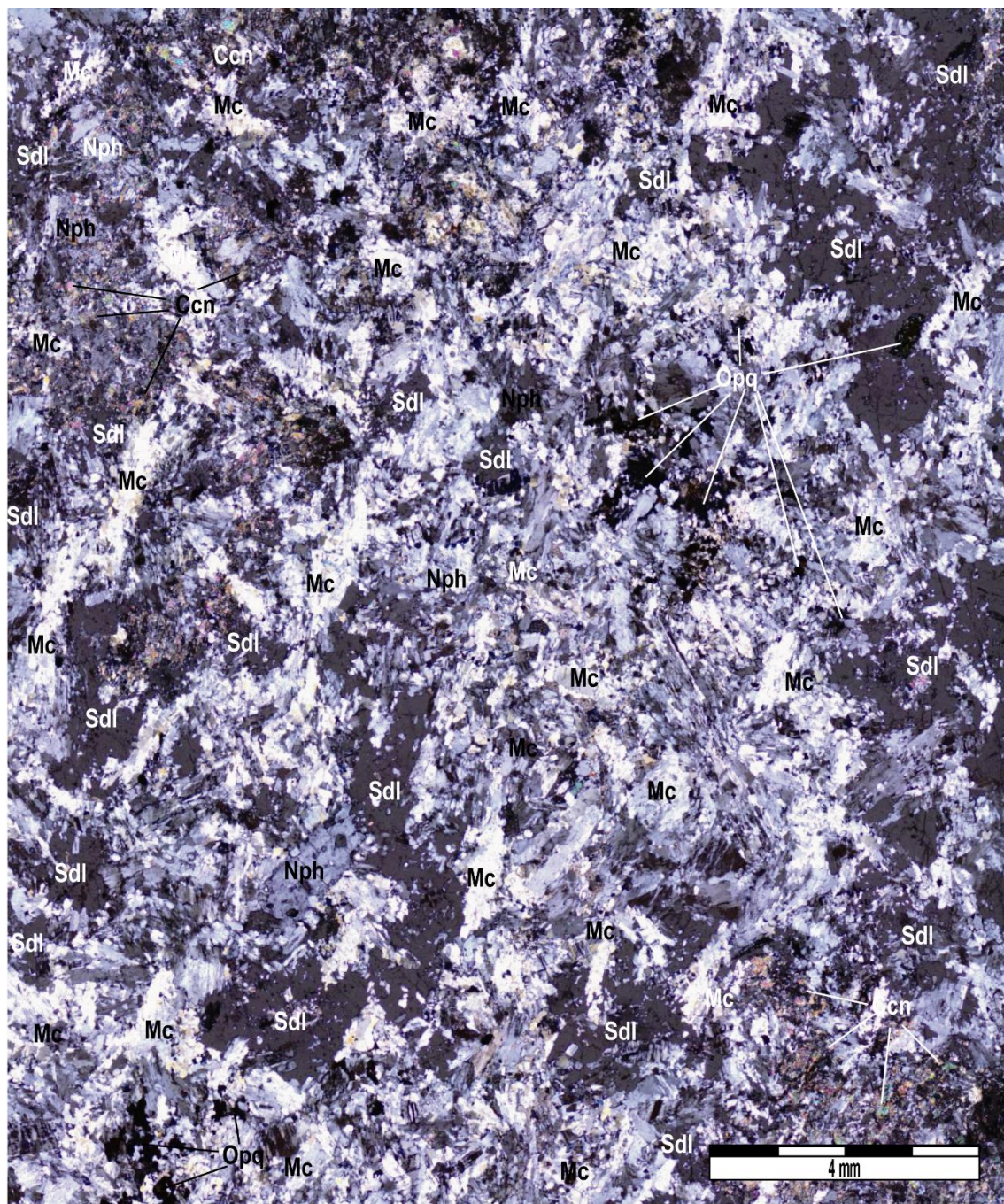
Tabela 6. Análises modais para as amostras da Fácies *Foid* Sienito Porfirítico.

MINERAIS (%)	2201	2202A
Microclínio	50,5	66,3
Nefelina	21,5	9,2
Sodalita	0,1	15,1
Annita	9,0	0,3
Albita (An2%)	6,9	3,3
Hornblenda	5,7	0,1
Cancrinita	0,2	5,2
Aegirina-augita	4,8	-
Calcita	1,1	0,5
M.Opacos	0,2	-
Apatita	<0,1	-
Titanita	<0,1	-
Allanita	-	<0,1
Zircão	<0,1	-

Os cristais de microclínio ocorrem de forma anédrica a subédrica, com tamanhos variando entre 0,03 mm a 2,32 mm. Encontram-se geminados segundo as leis Albita-Periclina e Carlsbad, sendo que os indivíduos da geminação mostram-se com formas regulares e bem a mal distribuídos.



Fotomicrografia 5. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2201. Nessa imagem tem-se os seguintes minerais presentes: microclínio (Mc), nefelina (Nph), annita (Ann), aegirina-augita (Aeg-Aug), albita (Ab) e hornblenda (Hbl). A imagem permite igualmente se visualizar a textura porfírica da rocha onde os tamanhos dos minerais variam entre 3,5 mm a 0,05 mm com predomínio dos cristais com cerca de 0,5 mm. Observa-se que os cristais são allotriomórficos e estão organizados em uma estrutura isotrópica. A rocha encontra-se alterada e apresenta-se com aglomerados de Ann, Hbl e Aeg-Aug. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.



Fotomicrografia 6. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2202A. Nessa imagem têm-se os seguintes minerais presentes: microclínio (Mc), sodalita (Sdl) nefelina (Nph) e cancrinita (Ccn). A imagem permite igualmente visualizar a granulação grossa dessa rocha, com tamanhos dos minerais variando entre 4 mm a 0,05 mm. Observa-se que os cristais são allotriomórficos e estão organizados em uma estrutura isotrópica. Os contatos reentrantes entre os cristais presentes podem sugerir a ocorrência da alteração causada por um fluido que gerou os cristais de Sdl. Os cristais de Nph encontram-se em processo de alteração para Ccn. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.

Esses cristais exibem textura pertítica, onde as exsoluções ocorrem nas formas de flâmulas e em pedaços. Quanto aos contatos, eles são irregulares com nefelina, aegirina-augita, hornblenda, calcita, albita, sodalita e cancrinita. Por vezes, as fraturas presentes estão preenchidas por calcita. Inclui cristais de: aegirina-augita anédricos com cerca de 0,1 mm por todo o cristal; annita subédrica com cerca de 0,25 mm no centro e na borda dos cristais; apatita subédrica em torno de 0,04 mm principalmente no centro; e hornblenda subédrica com cerca de 0,2 mm no centro e na borda.

Os cristais de nefelina ocorrem de forma subédrica, com tamanhos variando entre 0,05 mm a 4,2 mm. Os contatos são irregulares com os cristais de albita, microclínio, aegirina-augita, sodalita, cancrinita e hornblenda. Inclui annita subédrica nas bordas com cerca de 0,3 mm e hornblenda anédrica nas bordas com cerca de 0,2 mm. Altera-se para cancrinita.

A sodalita ocorre de forma anédrica, com tamanhos variando entre 0,07 mm e 1,7 mm. Os contatos são irregulares com nefelina, cancrinita, microclínio, annita, albita e aegirina-augita. Inclui cristais: anédricos de microclínio com cerca de 0,18 mm e de albita anédrica com tamanhos em torno de 0,1 mm.

A annita apresenta cor marrom com pleocroísmo de amarelo a marrom. Os cristais são subédricos a anédricos, com tamanhos variando entre 0,02 mm a 0,72 mm. Os contatos são irregulares com a albita, microclínio, nefelina, hornblenda e calcita.

A albita ocorre de forma anédrica a subédrica, com tamanhos variando entre 0,05 mm a 0,93 mm. Os contatos são irregulares com os cristais de nefelina, microclínio, calcita, aegirina-augita, hornblenda, annita e sodalita. Inclui cristais de: hornblenda subédrica no centro e nas bordas, com tamanhos em torno de 0,11 mm; aegirina-augita anédrica no centro e nas bordas com tamanho em torno de 0,09 mm; annita subédrica no centro e nas bordas com cerca de 0,09 mm e apatita euédrica nas bordas com cerca de 0,04 mm.

A hornblenda apresenta cor verde amarelada com pleocroismo de verde amarelado a verde escuro. Mostra-se como cristais subédricos e anédricos, com tamanhos variando entre 0,02 mm e 2,5 mm. Os contatos são irregulares com os cristais de nefelina, microclínio, aegirina-augita, minerais opacos e annita.

A cancrinita ocorre como cristais anédricos, com tamanhos variando entre 0,01 mm e 0,88 mm. Apresenta contatos irregulares com nefelina, albita, microclínio e sodalita.

A aegirina-augita exibe cor verde com pleocroísmo variando de verde pálido a amarelo pálido. Mostra-se com forma anédrica e os seus tamanhos variam entre 0,01 mm a 0,61 mm, com predomínio dos cristais com 0,25 mm. Os contatos são irregulares com microclínio, calcita, annita, nefelina, albita e hornblenda. Alguns cristais encontram-se zonados (Fotomicrografia. 7). Apresenta sobrecrecimento de annita e hornblenda em suas bordas (Fotomicrografia. 8).

A calcita ocorre como cristais anédricos, com tamanhos variando entre 0,02 mm e 0,4 mm. Os contatos irregulares ocorrem com os cristais de microclínio, albita, nefelina e annita.

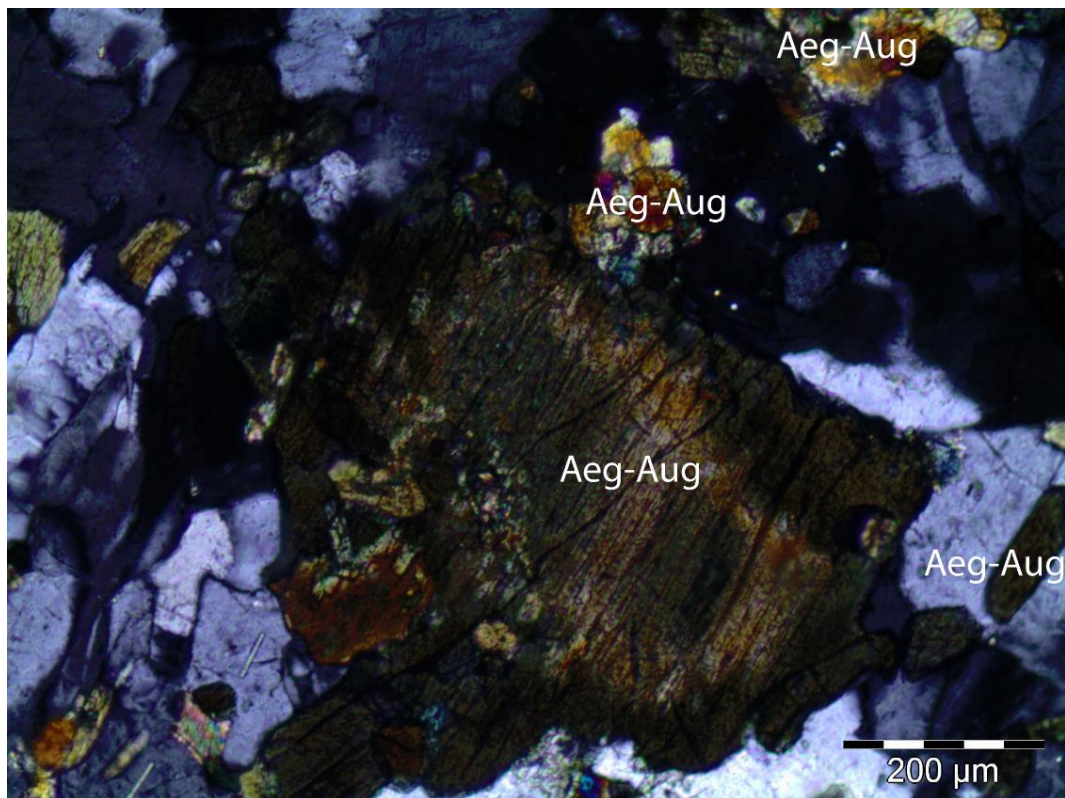
Os minerais opacos ocorrem como cristais anédricos a subédricos, com tamanhos variando entre 0,03 mm e 1,13 mm. Os contatos são irregulares com os cristais de hornblenda, annita, microclínio, albita e nefelina. Por vezes apresenta sobrecrecimento de titanita em suas bordas.

Os cristais de apatita ocorrem na forma subédrica a euédricas com tamanhos variando entre 0,016 mm a 0,11 mm. Os contatos são retos com microclínio, albita, hornblenda e nefelina.

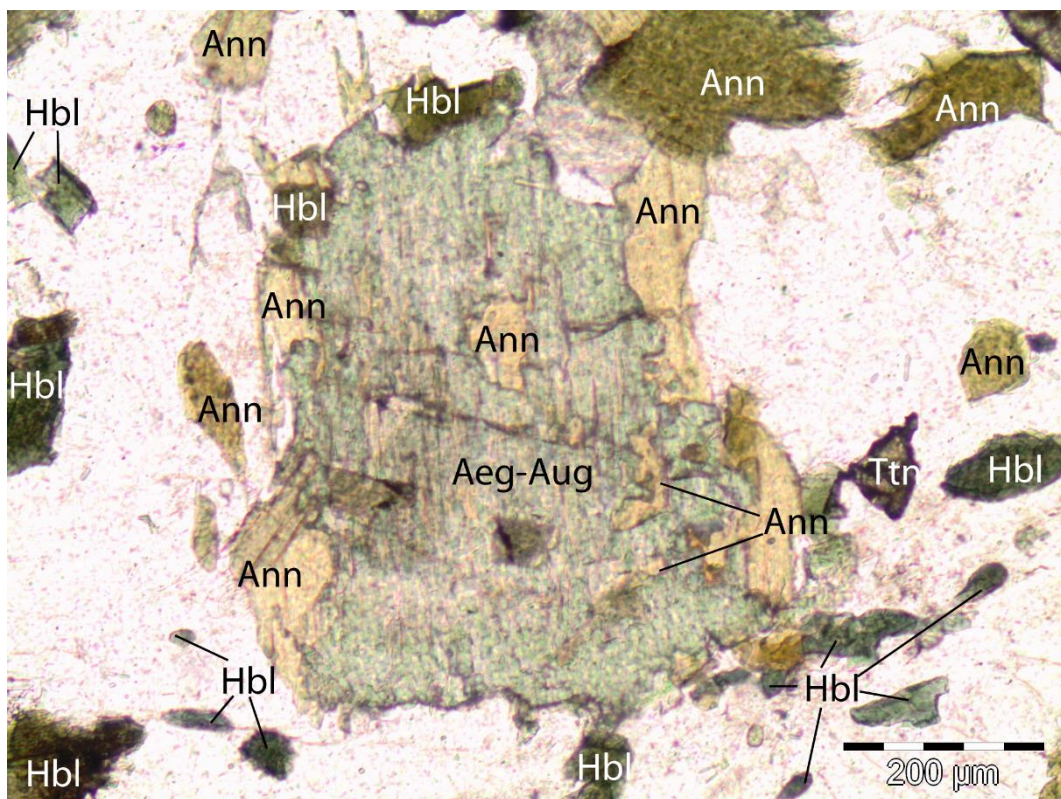
Os cristais de titanita são subédricos a anédricos, com tamanhos variando entre 0,08 mm a 0,32 mm, com predomínio dos cristais em torno de 0,29 mm. Os contatos são retos com os cristais de hornblenda e irregulares com os cristais de microclínio e albita.

A allanita apresenta cor vermelha. Ocorre como cristais anédricos a subédricos com tamanhos variando entre 0,03 mm e 0,38 mm. Seus contatos são irregulares com albita e microclínio.

Os cristais de zircão ocorrem de forma euédrica, com tamanhos variando entre 0,009 mm a 0,09 mm, com predomínio dos cristais em torno de 0,04 mm. Apresenta contatos retos com albita e microclínio.



Fotomicrografia 7. Imagem apresentando um cristal zonado de aegirina-augita (Aeg-Aug) da amostra 2201. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.



Fotomicrografia 8. Imagem da amostra 2201 apresentando sobrecrescimento de annita (Ann) e hornblenda (Hbl) em cristal de aegirina-augita (Aeg-Aug). Observação realizada com sistema em luz plano polarizada.

V.5. FÁCIES ÁLCALI SIENITO

A fácies é formada por rocha (Fotomicrografia. 9) de granulação grossa, com textura hipidiomórfica e estrutura isotrópica. Ela é composta (Tab. 7) por microclínio, albita, nefelina, hornblenda, minerais opacos, allanita e calcita.

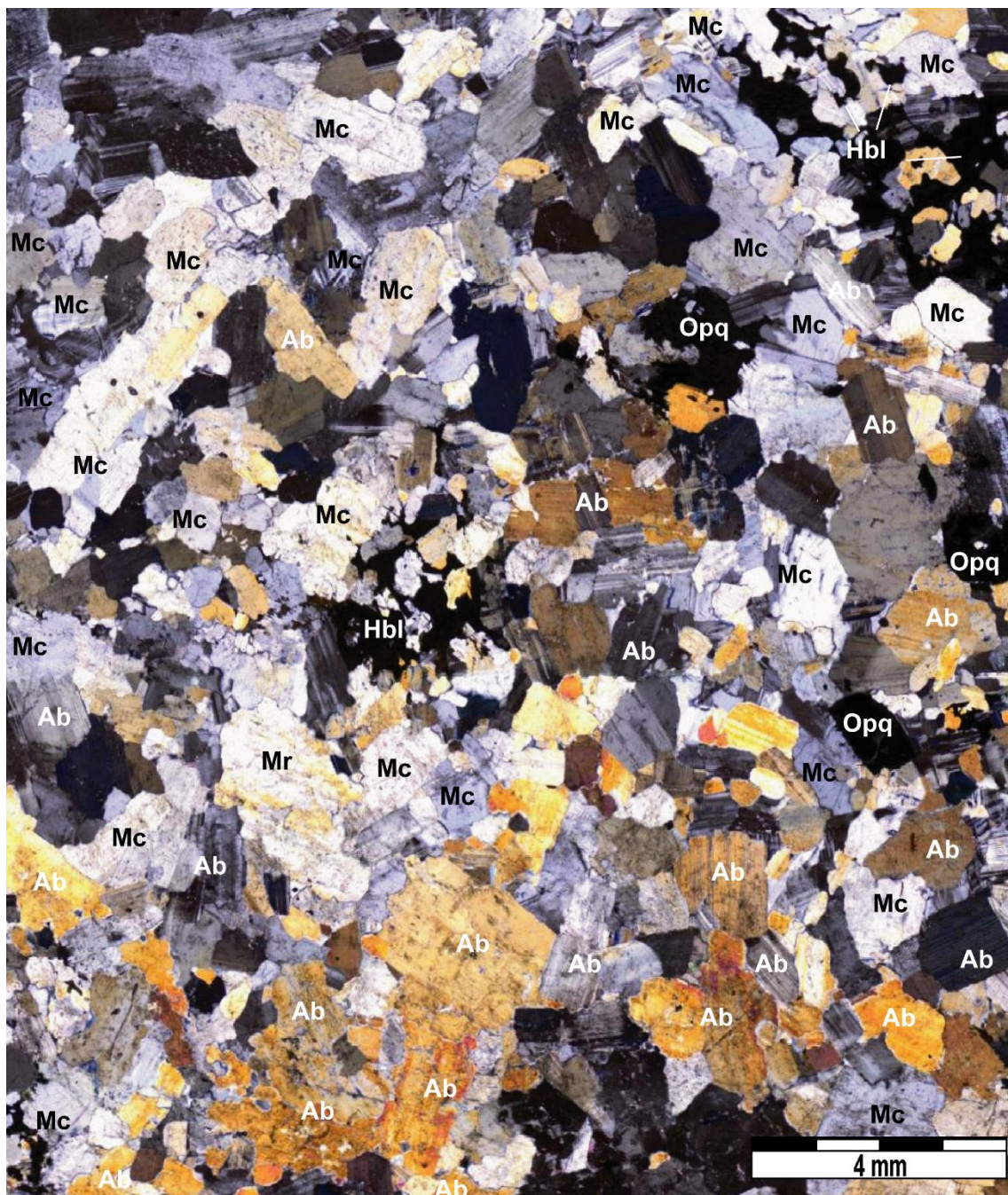
Tabela 7. Análise modal para a amostra da Fácies Álcali Sienito. Minerais Opacos (M. Opacos).

MINERAIS (%)	2204
Microclínio	49,1
Albita (An2%)	45,3
Hornblenda	4,6
M. Opacos	1,0
Allanita	<0,1
Apatita	<0,1

Os cristais de microclínio pertítico ocorrem subédricos, por vezes anédricos, e com tamanhos variando entre 0,09 mm e 5,7 mm. Encontram-se geminados segundo as leis Albita-Periclina e Carlsbad, sendo que os indivíduos geminados mostram-se com formas regulares e bem distribuídos nos cristais. Apresenta textura pertítica e as exsoluções exibem a forma de pedaços e flâmulas. Os contatos são irregulares com albita. As fraturas encontram-se preenchidas por calcita.

Os cristais de albita, apresentam sistematicamente cor de interferência amarela, são subédricos apresentando tamanhos variando entre 0,07 mm e 7,27 mm. Encontram-se com geminação bem desenvolvida segundo a Lei Albita e, por vezes, segundo as leis Albita-Carlsbad. Quanto aos contatos eles são retos com seus próprios cristais e reentrantes com microclínio e hornblenda. As fraturas encontram-se preenchidas por calcita.

A hornblenda apresenta cor verde, com pleocroísmo variando de verde a verde bem escuro. Os seus cristais são anédricos com tamanhos variando entre 0,04 mm a 1,25 mm predominando os cristais com 0,04 mm. Os seus contatos são reentrantes com albita e microclínio. Inclui microclínio subédrico no centro com tamanhos em torno de 0,5 mm, albita subédrica no centro com tamanhos em torno de 0,4 mm e apatita euédrica no centro e nas bordas com tamanhos em torno de 0,1 mm.



Fotomicrografia 9. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2204. Nessa imagem tem-se os seguintes minerais presentes: albita (Ab), microclínio (Mc), hornblenda (Hbl) e minerais opacos (Opq). A imagem permite igualmente visualizar a granulação grossa dessa rocha, com tamanhos dos minerais variando entre 4 mm a 0,2 mm predominando os cristais com 1 mm. Observa-se que os cristais são hipidiomórficos e estão organizados em uma estrutura isotrópica. Os cristais de Ab apresentam alta cor de interferência amarela. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.

Os minerais opacos ocorrem anédrico e subédrico, com tamanhos variando entre 0,22 mm e 1,13 mm, predominando os cristais com 0,3 mm. Os contatos são irregulares com albita, microclínio e principalmente hornblenda.

Os cristais de allanita anédrica apresentam cor marrom e tamanhos variam entre 0,07 mm a 0,34 mm. Os contatos são irregulares com albita e microclínio.

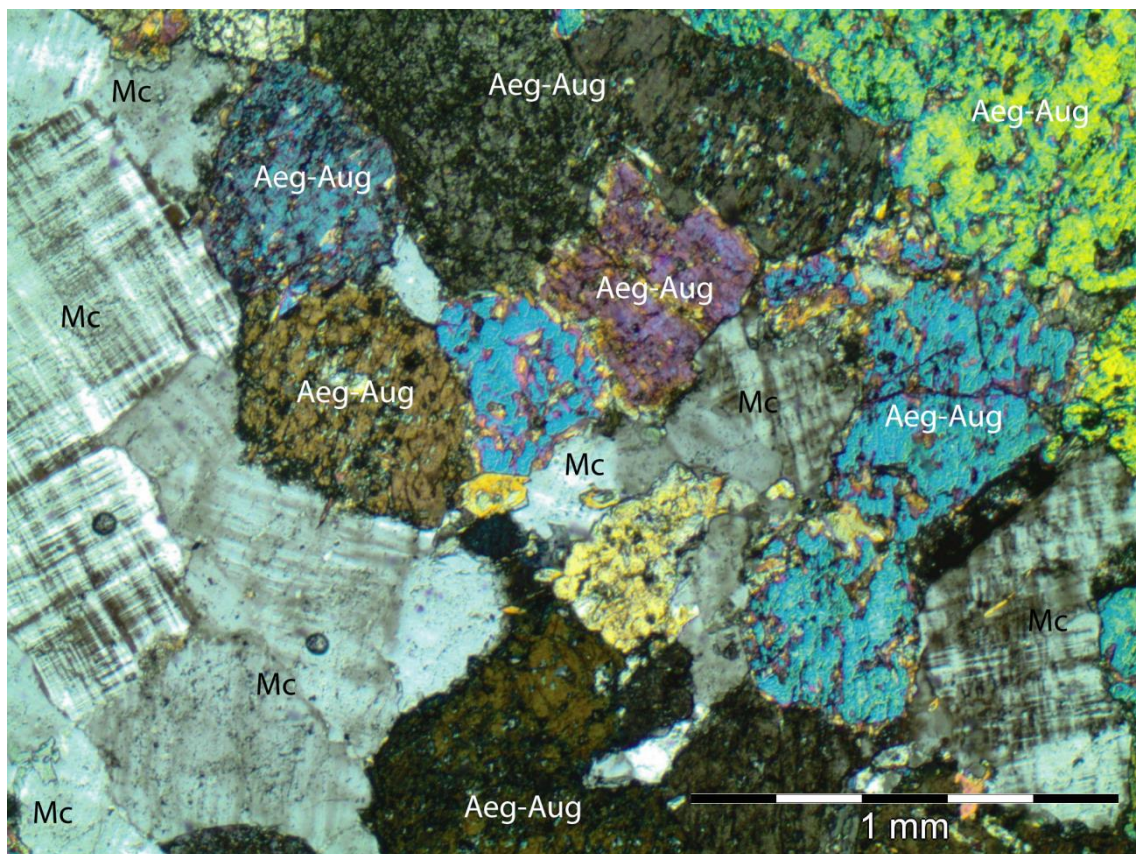
Os cristais de apatita são euédricos com tamanhos variando entre 0,06 mm a 0,11 mm. Os contatos são retos com hornblenda, microclínio e albita.

V.6. FÁCIES FENITO

Tem-se descritos dois níveis de fenitização onde um é mais suave (2202B) e um bem mais intenso (2206). As rochas desta fácies apresentam granulação média, textura allotriomórfica e estrutura isotrópica. A mineralogia (Fotomicrografia. 10) (Tab. 8) é constituída por aegirina-augita, oligoclásio, biotita, microclínio, diopsídio, minerais opacos (magnetita* e ilmenita*) calcita, titanita, apatita, baddeleyíta*, monazita*, pirita*, esfarelita* e zirconolita*.

Tabela 8. Análise modal para a amostra da Fácies Fenito.

MINERAIS (%)	2202B	2206
Oligoclásio (An14%)	70,0	-
Biotita	18,0	-
Aegirina-augita	-	82,4
Microclínio	-	17,6
Diopsídio	10,0	-
M. Opacos	2,0	-
Calcita	-	-
Titanita	-	-
Apatita	-	<0,1
Baddeleyíta*	<0,1	-
Monazita*	<0,1	-
Pirita*	<0,1	-
Esfarelita*	<0,1	-
Zirconolita*	<0,1	-



Fotomicrografia 10. Imagem apresentando cristais de aegirina-augita (Aeg-Aug) e de microclínio (Mc) da amostra 2206. Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.

A aegirina-augita ocorre de forma anédrica, sendo raro formas subédricas. Os tamanhos variam entre 0,04 mm a 3,36 mm com predomínio dos cristais com cerca de 0,8 mm. Os contatos são predominantemente irregulares com o microclínio. Contudo, mostram contatos próprios retos fazendo aparecer em certas regiões da rocha (Fotomicrografia 10).

O oligoclásio se apresenta anédrico a subédrico, com tamanhos variando de 0,5 a 7 mm com predomínio dos cristais com cerca de 5 mm. Os indivíduos geminados seguem a Lei Albita que ocorre de forma irregular. Apresenta textura anti-perítica sob a forma de flâmulas e por vezes em pedaços. Os contatos são irregulares com biotita e diopsídio. Possui alteração para calcita que preenche fraturas.

A biotita apresenta cor marrom com pleocroísmo variando de marrom claro a marrom. Ocorre com formas subédricas a anédricas com tamanhos variando de 0,3 a 3,5 mm com predomínio dos cristais com cerca de 2,5 mm. Seus contatos são irregulares com oligoclásio, diopsídio. Ocorre associada com minerais opacos e por vezes preenche fraturas.

Os cristais de microclínio apresentam-se de forma anédrica, por vezes subédrica, e os seus tamanhos variam de 0,068 mm a 1,27 mm com predomínio dos cristais com cerca de 0,47 mm. Os indivíduos são geminados de acordo com as leis Albita-Periclina, que ocorrem de forma regular e bem distribuída nos cristais. Quanto aos contatos eles são predominantemente irregulares com aegirina-augita.

O diopsídio possui cor verde claro com fraco pleocroísmo de verde a incolor. Ocorre de subédrica a anédrica com tamanhos variando de 0,6 a 3 mm com predomínio dos cristais com cerca de 2,7 mm. Apresenta contatos irregulares com oligoclásio e biotita.

Os minerais opacos ocorrem com forma anédrica, com tamanhos variando entre 0,1 mm a 1,2 mm e com predomínio dos cristais com 0,8 mm. Os contatos são irregulares com diopsídio e principalmente biotita a quem ocorre associado, sendo por vezes observada a formação da biotita a partir dos minerais opacos.

A calcita ocorre de forma anédrica, sendo intersticial entre os cristais de aegirina-augita. Os tamanhos variam em torno de 0,25 mm e os contatos são irregulares com aegirina-augita e microclínio.

Os cristais de titanita euédricos apresentam tamanhos em torno de 0,1 mm. Os contatos retos com aegirina-augita e microclínio.

Os cristais de apatita correm euédricos, com tamanhos em torno de 0,2 mm. Os contatos retos com aegirina-augita e microclínio.

V.7. FÁCIES EMBASAMENTO

O embasamento onde o CAFA intrudiu foi submetido tanto a elevadas condições de metamorfismo como a um metamorfismo bem superficial, contendo assim rochas granulíticas (Fotomicrografia 11) e metaígneas (Fotomicrografia 12). A mineralogia (Tab. 9) é constituída por andesina, oligoclásio, quartzo, diopsídio, hiperstênio, microclínio, hornblenda, biotita, minerais opacos, titanita, epídoto, apatita e zircão.

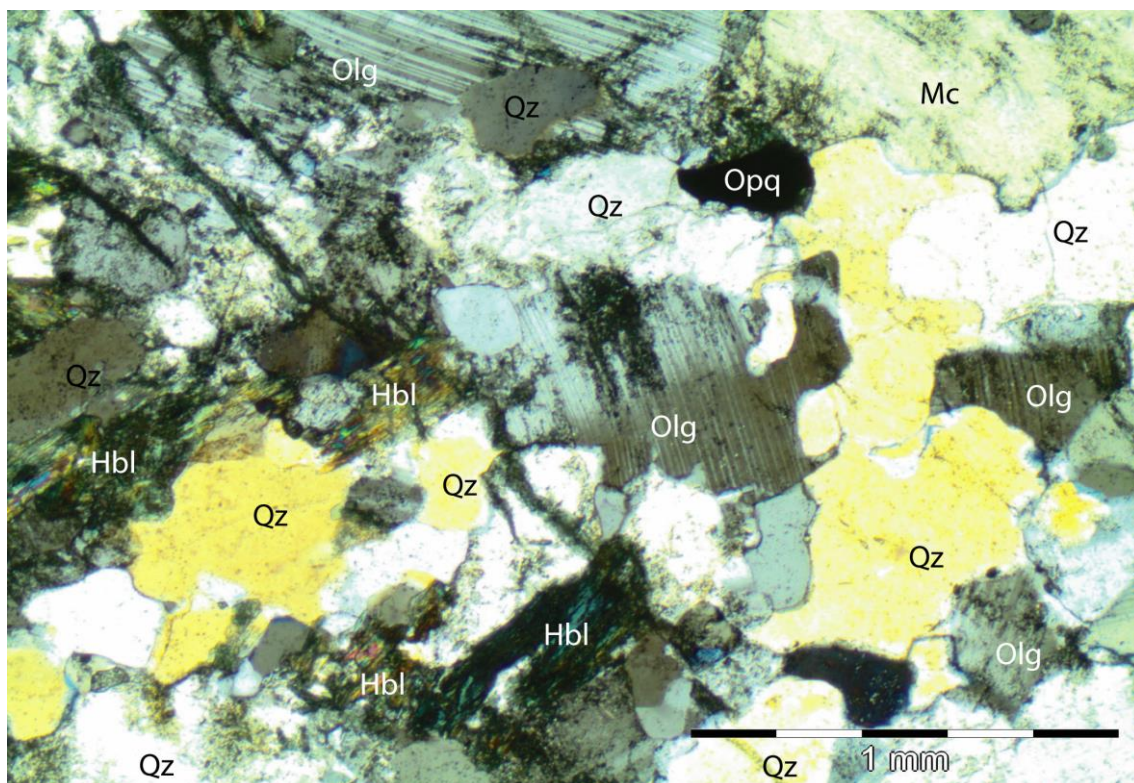
Tabela 9. Análises modais para as amostras da Fácies Embasamento.

MINERAIS (%)	2205	2208	2209
Andesina	-	61,0	28,2
Oligoclásio	51,6	-	-
Microclínio	18,7	3,1	42,6
Diopsídio	-	21,6	-
Quartzo	18,3	10,2	5,2
Biotita	-	-	18,2
Hornblenda	10,4	-	5,8
Hiperstênio	-	3,9	-
Minerais opacos	1,0	0,2	<0,1
Apatita	-	<0,1	<0,1
Titanita	-	-	<0,1
Epídoto	-	-	<0,1
Zircão	<0,1	-	-

Os cristais de andesina (38%An e 42%An), respectivamente nas amostras 2209 e 2008, ocorrem de forma subédrica, com tamanhos variando entre 0,05 mm a 6,3 mm. A geminação segundo a Lei nesses cristais ocorrem irregulares e bem a mal distribuída nos cristais. Apresenta contatos retos entre os seus cristais, biotita e microclínio e irregulares com microclínio, quartzo, diopsídio, hiperstênio e minerais opacos.



Fotomicrografia 11. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2208, onde se podem observar os contatos irregulares entre os cristais granulares e a presença de fraturas que são preenchidas por clorita (Chl). Pode-se observar também a formação de lepidomelano (Lpm) a partir de minerais opacos (Opq) e a ocorrência de andesina (Ade), quartzo (Qz), diopísídio (Di) e hiperstênio (Hyp). Imagem obtida a partir de 16 fotomicrografias na escala de 40X (ocular de 10X e objetiva de 4X). Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.



Fotomicrografia 12. Imagem apresentando a textura geral da amostra 2205, onde se pode observar a ocorrência de quartzo (Qz), hornblenda (Hbl), minerais opacos (Opq), oligoclásio (Olg) e microclínio (Mc). Observação realizada com sistema em nicóis cruzados.

Inclui cristais euédricos de apatita com cerca de 0,18 mm em suas bordas e no centro. Apresenta saussuritização, alterando-se para epídoto e sericitização alterando-se para muscovita.

Os cristais de oligoclásio (12%An), na amostra 2205, ocorrem de forma subédrica, com tamanhos variando entre 0,13 mm a 2,04 mm. Os indivíduos geminados seguem as leis Manebach e Albita que se apresenta em sua maioria bem desenvolvida com boa distribuição. Apresenta textura anti-pertítica sob a forma de bastões irregulares e descontínuas. Os contatos são irregulares com microclínio, quartzo e hornblenda. Inclui cristais euédricos de zircão nas bordas e nos centros com tamanhos em torno de 0,05 mm. Está alterando pelo processo de saussuritização.

O microclínio ocorre de forma subédrica a anédrica com os seus tamanhos variando entre 0,06 mm e 3,3 mm. Alguns indivíduos encontram-se geminados segundo as leis Baveno e Albita-Periclina a qual ocorre de forma irregular e mal distribuída. Podem apresentar textura pertítica, com as exsoluções dispostas sobre a forma de flâmulas. Os seus contatos são retos com biotita e andesina e são irregulares com quartzo, oligoclásio, diopsídio, hiperstênio, biotita e hornblenda.

O diopsídio apresenta coloração verde e exibe fraco pleocroísmo em tons de verde pálido. Ocorre de forma anédrica a subédrica, com tamanhos variando entre 0,09 mm a 1,22 mm. Quanto aos seus contatos são irregulares com microclínio, hiperstênio, andesina e minerais opacos. Encontra-se alterado, precipitando por vezes minerais opacos.

Os cristais de quartzo são anédricos com tamanhos variando entre 0,03 mm a 3,2 mm. Os contatos são irregulares com microclínio, andesina, oligoclásio, biotita, hornblenda, diopsídio e hiperstênio.

A biotita subédrica e anédrica apresenta cor marrom e pleocroísmo variando de amarelo a marrom. Os tamanhos variam entre 0,08 mm a 1,5 mm. Os contatos são retos com microclínio e andesina e irregulares com hornblenda. Inclui cristais de minerais opacos subédricos com tamanhos em torno de 0,08 mm.

A hornblenda anédrica possui cor verde pálido, com fraco pleocroísmo de verde a amarelo. Os tamanhos variando entre 0,045 mm a 1,22 mm. Apresenta contatos irregulares com oligoclásio, andesina, microclínio, quartzo, biotita e minerais opacos. Por vezes suas fraturas e clivagens são preenchidas por minerais opacos.

Os cristais anédricos de hiperstênio apresentam tamanhos que variam de 0,18 mm a 2,43 mm. Os contatos são irregulares com andesina, microclínio, diopsídio e minerais opacos. Encontra-se alterado, liberando por vezes minerais opacos.

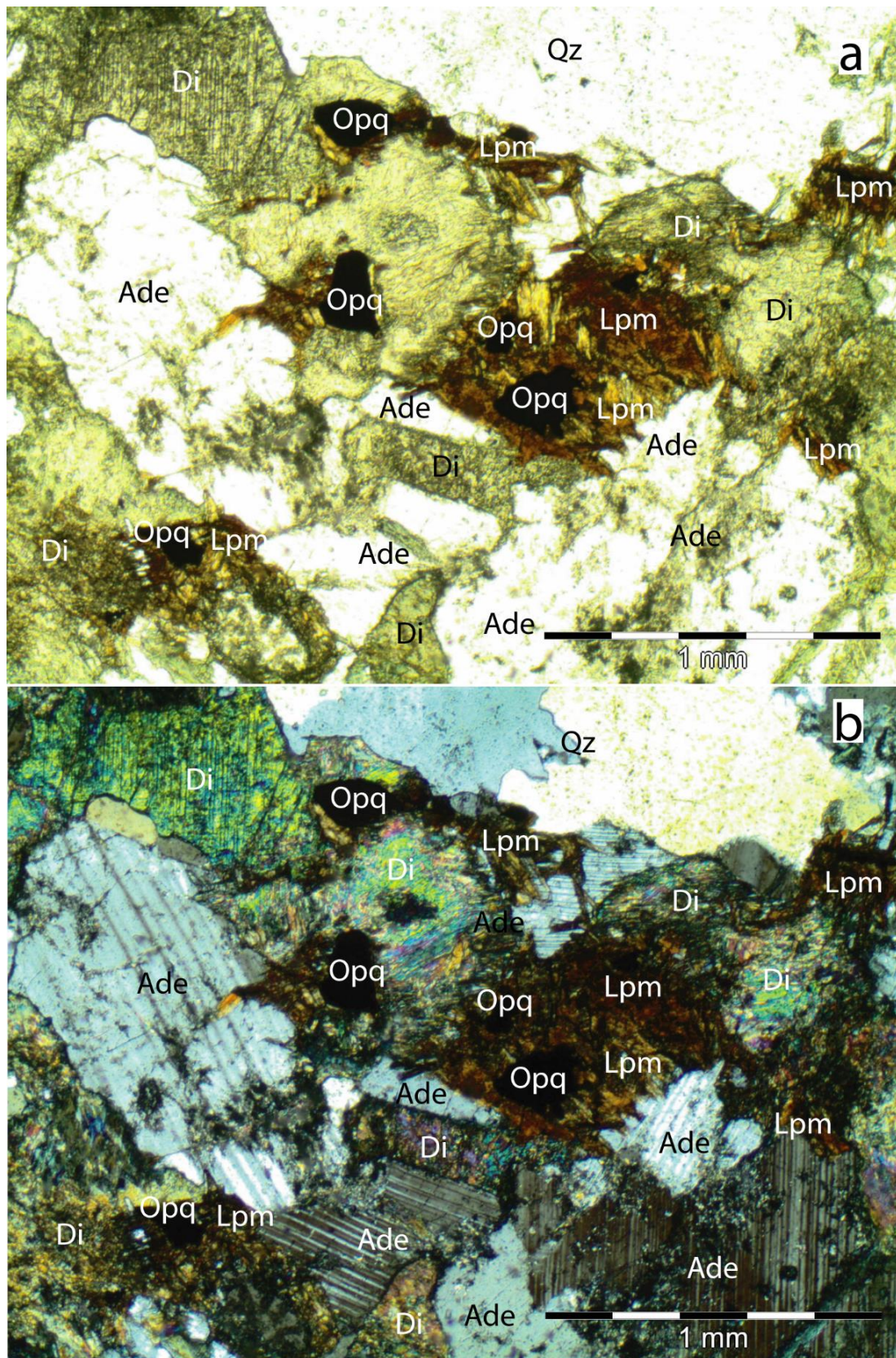
Os minerais opacos ocorrem como cristais anédricos a raramente subédricos e com tamanhos variando entre 0,03 mm a 0,54 mm. Apresentam contatos retos com biotita e irregulares microclínio, oligoclásio, quartzo, hiperstênio, andesina. Observou-se a presença de coroas de oxidação, sendo que por vezes, ocorre a formação de lepidomelano (Fotomicrografia. 14a-b) e em suas bordas ocorre por vezes o crescimento de titanita.

Os cristais de apatita ocorrem de forma subédrica a euédrica, com tamanhos variando entre 0,04 mm a 0,1 mm. Os contatos são retos com microclínio e andesina.

A titanita ocorre como cristais anédricos com tamanho variando entre 0,05 mm a 0,32 mm. Apresenta contatos irregulares com microclínio, andesina e principalmente biotita e minerais opacos.

O epídoto ocorre anédrico com tamanhos variando entre 0,09 mm a 0,2 mm. Apresenta contatos irregulares com andesina e microclínio.

Os cristais de zircão são euédricos com tamanhos variando entre 0,02 mm e 0,08 mm. Alguns cristais encontram-se zonados.



Fotomicrografia 13. Imagens da amostra 2208, onde pode-se observar a liberação de minerais opacos (Opq) a partir dos cristais de diopsídio (Di) e a formação de lepidomelano (Lpm) a partir da oxidação dos minerais opacos (Opq). Observação realizada com sistema em luz natural polarizada [a] e em nicóis cruzados [b].

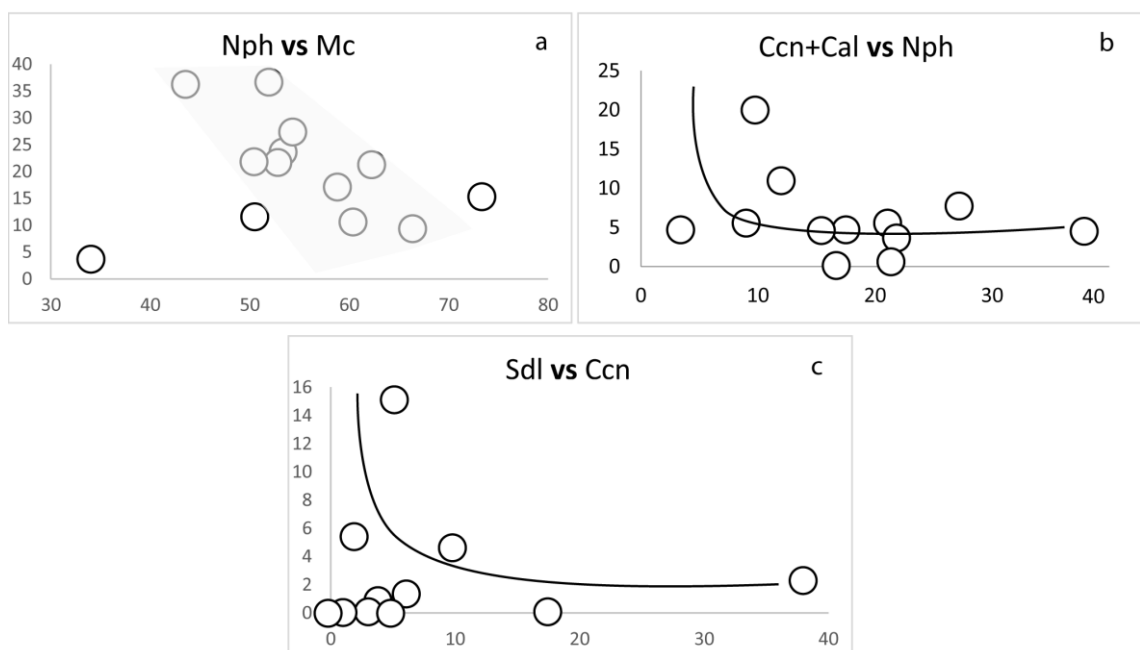
V.8. CONSIDERAÇÕES SOBRE A PETROGRAFIA

O presente capítulo mostrou-se importante para o entendimento das rochas estudadas, pois foi possível identificar a maioria dos minerais presentes, determinar a nomenclatura das rochas, inferir a sequência de cristalização e com suas formas e texturas foram discutidos os possíveis processos que levaram a formação desses minerais.

A partir da análise dos dados modais (Fig. 8) pôde-se observar que:

- O volume de nefelina tende a apresentar decréscimo com o aumento no volume de microclínio (Fig. 8a).
- O volume do somatório de cancrinita mais calcita (Fig. 8b) mantém-se com um valor em torno de 5% para um variado grupo de rochas, existindo algumas que apresentam valores superiores e inferiores. Com relação aos valores de nefelina pode-se perceber uma tendência hiperbólica entre os conteúdos devido à formação da cancrinita.
- Observa-se uma relação hiperbólica (Fig. 8c) entre os conteúdos elevados de sodalita e cancrinita. Este fato sugere que ambos sejam formados a partir da nefelina, indicando fases fluidas distintas (rica em cloreto que forma a sodalita e rica em CO₂ que forma a cancrinita).

A ordem de cristalização para as rochas da ISn (Tab. 10) foi estabelecida de acordo com as texturas, inclusões e contatos entre os minerais. Os cristais de baddeleyíta*, zircão, thorita, pirocloro, allanita, minerais opacos e apatita foram formados precocemente, sendo que os minerais opacos por vezes podem apresentar sobrecrecimento de titanita em suas bordas. Em um segundo momento são cristalizados os minerais máficos de aegirina-augita, hornblenda e biotita, onde pode ser observado nos cristais de aegirina-augita um zoneamento indicando reações com o magma e sobrecrecimento de cristais de hornblenda e biotita em suas bordas. Contemporâneo à formação da biotita cristaliza-se uma pequena quantidade de albita primária que ocorre nas Fácies Foid Sienito Porfirítico e Fácies Álcali Sienito que se localizam, respectivamente, mais próximas da extremidade do corpo.



Legenda: ○ Amostra do CAFA

Figura 8. Correlações entre os volumes de minerais nas fácies sub-saturadas do CAFA, onde o primeiro mineral corresponde aos volumes do eixo vertical e o segundo aos volumes do eixo horizontal.

Tabela 10. Esquema apresentando a ordem de cristalização estabelecida para os minerais presentes nas fácies foidolíticas da ISn do CAFA.

Minerais	Liquidus	Solidus
Baddeleyíta*	—	
Zircão	—	—
Torita*	—	
Pirocloro*	—	—
Allanita	—	
M. Opacos	—	Titanita —
Apatita	—	—
Aegirina-Augita	—	
Hornblenda	—	
Annita	—	Clorita+M. Opacos
Albita	—	
Microclínio	—	
Nefelina	—	
Sodalita	—	
Cancrinita	—	
Calcita	—	Ancilita Estroncianita
Monazita*	—	—
Hidroxifluoretos*	—	—
Pirita*	—	—
Esfarelita*	—	—

Os cristais de microclínio ocorrem em maior abundância nas rochas, incluindo a maioria dos cristais.

O primeiro feldspatóide a se formar é a nefelina que, por vezes, ocorre nos interstícios entre os prismas de microclínio, sendo seguida no final de sua cristalização por formação de sodalita primária.

Os cristais de cancrinita e boa parte dos cristais de sodalita são formados pela interação de fluidos tardios com a nefelina, uma reação que ocorre no campo do *solidus*. Juntamente com a formação da cancrinita ocorre provavelmente a cristalização da calcita devido a fluidos ricos em CO₂.

A presença de fluidos (ex. F, Cl₂, CO₂, H₂O) também promoveu a formação de uma assembleia mineral restrita (ancilita*, monazita* e apatita) que ocorrem em associação e ainda com cristais de zircão, pirocloro* e hidroxifluoretos*. Sulfetos ocorrem de forma esporádica representados por pirita* e esfarelita*.

Em período tardio ocorre a desestabilização da hornblenda e annita*, formando clorita com liberação de minerais opacos em clivagens e fraturas destes minerais.

Nessas rochas, o microclínio é o mineral mais abundante, apresentando textura pertítica exsolvendo cristais de albita*, indicando que sua cristalização foi *hipersolvus*. Os seus cristais acomodam outros minerais nos interstícios formados pela disposição angular ou triangular dos seus prismas. A albita ocorre principalmente como produto de exsolução, sendo cristalizada diretamente do magma nas Fácies *Foid* Sienito Porfiritico e Álcali Sienito. A interação dessas rochas com fluidos tardios promoveu uma série de processos que foram observados durante a descrição petrográfica:

- Os cristais de nefelina são coroados por cancrinita, sendo esta uma reação *subsolidus*, que segundo os experimentos de Sirbescu & Jenkins (1999) e as considerações feitas por Deer *et al.* (1966) essa reação ocorre em temperaturas entre 750° e 500°C em pressão com cerca de 2,2 kbar.
- O maior volume de sodalita foi formado a partir de metassomatismo por fluidos salinos que reagiram com os cristais de nefelina. Segundo Finch

(1991) durante o processo de formação da sodalita é comum o preenchimento de fraturas e poros por cristais de fluorita. Nesse processo a temperatura dessa reação ocorre em torno de 700°C, segundo os dados de Wellman (1970).

- Cristais de calcita preenchem fraturas, clivagens e interstícios de minerais como microclínio e annita*.
- As presenças de F e CO₂ em muitos complexos alcalinos são associadas ao transporte de ETR (Alderton *et al.* 1980) e nesse processo formam paragêneses com calcita, fluorita e fluorcarbonatos. No CAFA a cristalização precoce de apatita pode ter diminuído a fração molar do F, fazendo com que o CO₂ tenha sido o principal agente para o transporte dos ETR, sendo esse processo o responsável pela formação da ancilita, hidroxifluoretos e a associação da monazita com esses minerais.
- Desestabilizações de hornblenda e annita* para clorita, como ocorre na ISn, têm sido descrita por Deer *et al.* (1966) a temperaturas em torno de 400°C. Esses mesmos autores descrevem nesse processo a precipitação de óxidos de Fe ao longo dos planos de clivagem como as que são presentes no corpo estudado.
- Sobrecrecimento de annita* e hornblenda em cristais de aegirina-augita traduz o aumento da fração molar de H₂O.

A sodalita apresenta duas formas de ocorrência no presente estudo, onde além da fase metassomática é observada a cristalização direta do magma, assim como discutido em diversos trabalhos (e.g. Wellman 1970; Sharp *et al.* 1989). Em outros corpos da PASEBA a origem da sodalita também é relacionada a ambos os casos. A ocorrência de sodalita disseminada em sienitos e cristalizada nos interstícios entre os prismas de microclínio, descritas no Batólito Itarantim e no *Stock* Itajú do Colônia, é interpretada como magmática por Rosa et al. (2007). Por sua vez a sodalita metassomática, segundo esses autores é a mais volumosa na PASEBA, ocorrendo em faixas descontínuas de até 10 m em contato com os nefelina sienitos pegmatíticos, nas bordas dos cristais de nefelina e em bolsões onde ocorrem os sodalititos.

O metassomatismo que ocorreu nas rochas da ISn pode ser considerado como tendo ocorrido em sistema fechado. Oliveira (2003) o descreve na PASEBA com sem perda de massa e as transformações ocorridas entre os minerais geram novas assembleias que obedecerão ao balanço de massa inicial. Dentre as principais características se destacam as substituições da nefelina por sodalita e cancrinita e microclínio por albita*. Com isso esse processo pode ser caracterizado como auto-metassomatismo, já que não ocorre a participação de fatores externos.

VI. QUÍMICA MINERAL

VI.1. INTRODUÇÃO

Os minerais, mesmo após milhões de anos de sua cristalização ainda guardam informações sobre a sua origem, desde ambiente de formação, condições de temperatura e pressão e processos tardios ou secundários que os afetaram.

Nesse capítulo serão apresentados e discutidos dados sobre a composição e aspectos texturais obtidos durante as análises no MEV a partir de lâminas delgado-polidas (Tab. 1) da ISn. Foram feitas sempre que possível as classificações químicas dos minerais, aplicada a nomenclatura química, avaliado suas variações composicionais em diagramas mineraloquímicos e, quando possível, foram feitas inferências sobre condições de temperatura e pressão.

Todos os minerais identificados serão reportados a seguir, desde os essenciais (feldspatos, feldspatóides, micas e diopsídio), os acessórios usuais (carbonatos, apatita, zircão, óxidos de Fe-Ti, sulfetos) e os acessórios diminutos (ancilita, pirocloro, monazita, baddeleyíta, zirconolita, torianita, hidroxifluoretos). Estes últimos só foram identificados com a utilização do MEV.

VI.2. FELDSPATOS

Representam o grupo de minerais mais abundante em rochas ígneas, sendo utilizados como parâmetros para as suas classificações (Le Maître *et al.* 1989).

A composição química da maioria dos feldspatos é expressa a partir de soluções sólidas, onde os termos intermediários entre as substituições simples de metais alcalinos ($\text{Na}^+ \rightarrow \text{K}^+$) constituem a Série dos Feldspatos Alcalinos. Já os feldspatos que apresentam metais alcalinos terrosos com substituições acopladas ($\text{Na}^+\text{Si}^{4+} \rightarrow \text{Ca}^{2+}\text{Al}^{3+}$) formam a Série dos Plagioclásios (Deer *et al.* 1992).

Os dados químicos para os feldspatos são apresentados na tabela 11 e no Anexo I. Foram realizadas 136 análises químicas distribuídas em todas as lâminas delgado-polidas.

Tabela 11. Análises químicas representativas pontuais para os feldspatos.

Lâmina	2098	2098	2173	2173	2195	2195	2200	2200	2202B	2202B
Fácies	Annita Foid Sienito						Foid Sienito		Fenito	
Análise	6	19	24	26	41	45	108	110	119	127
SiO₂	64,40	68,50	64,30	68,50	64,40	68,10	64,50	67,90	63,90	61,90
Al₂O₃	19,10	19,70	19,00	19,60	18,90	20,10	19,30	20,20	23,00	20,10
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	0,00
Na₂O	0,50	11,80	0,50	11,80	0,50	11,80	0,50	11,90	9,90	3,00
K₂O	16,00	0,00	16,20	0,00	16,20	0,00	15,60	0,00	0,00	10,70
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,30
Total	100,00	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00
Fórmula estrutural com base em cinco cátions e oito oxigênios										
Si	2,974	2,990	2,973	2,993	2,977	2,974	2,973	2,967	2,817	2,900
Al	1,040	1,014	1,036	1,009	1,030	1,035	1,049	1,041	1,195	1,110
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,151	0,000
Na	0,045	0,999	0,045	1,000	0,045	0,999	0,045	1,008	0,846	0,273
K	0,942	0,000	0,955	0,000	0,955	0,000	0,917	0,000	0,000	0,639
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,079
Total	5,000	5,002	5,009	5,002	5,008	5,008	4,984	5,016	5,009	5,001
Membros Finais										
Or	95,46	0,00	95,52	0,00	95,52	0,00	95,35	0,00	0,00	64,53
Ab	4,54	100,00	4,48	100,00	4,48	100,00	4,65	100,00	84,85	27,50
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,15	0,00
Cn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08

A fórmula geral dos feldspatos é:



$T = Si^{4+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Ti^{4+}, P^{3+}, B^{3+}, Ga^{3+}, Ge^{4+}$

$M = K^+, Na^+, Ca^{2+}, Rb^+, NH_4^+, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Eu^{2+}, Pb^{2+}$

Os elementos foram distribuídos inicialmente na posição tetraédrica T onde foram adicionados na seguinte ordem $Si^{4+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Ti^{4+}, P^{3+}, B^{3+}, Ga^{3+}$ até o total de quatro cátions. Na posição M octaédrica foram adicionados $K^+, Na^+, Ca^{2+}, Rb^+, NH_4^+, Sr^{2+}, Ba^{2+}, Eu^{2+}, Pb^{2+}$ até o total de um cátion.

Nos sienitos do CAFA os feldspatos são os minerais mais abundantes, dominando a fase potássica, onde a fase sódica ocorre de forma subordinada, predominantemente sob a forma de exsoluções. No fenito pode ser observada a textura anti-peritítica onde o microclínio é exsolvido a partir do oligoclásio.

Os cálculos dos componentes puros Albita [Ab] ($NaAlSi_3O_8$), Anortita [An] ($CaAl_2Si_2O_8$), Ortoclásio [Or] ($KAl_2Si_2O_8$), Celsiana [Cn] ($BaAl_2Si_2O_8$) foram baseados no número de cátions, após o cálculo das fórmulas estruturais.

Os feldspatos, alcalino e potássico (ortoclásio e microclínio), apresentam conteúdos da molécula de albita variando entre 2,77-22,62% para os cristais da porção sub-saturada e 26,43-31,1% para os pertencentes ao fenito, não sendo observado em ambas porções concentrações da molécula de anortita.

A albita ocorre predominantemente em fases puras e com concentrações da molécula de ortoclásio 1,07%-1,1% e anortita 1,37-4,99% nos *foiid* sienitos e com a presença apenas da molécula de anortita no fenito entre 2,6-4,93%.

No diagrama de nomenclatura dos feldspatos (Fig. 9) foram observados a ocorrência da composição do ortoclásio sob a forma de microclínio e albita, já para o fenito foram observados anortoclásio, oligoclásio e andesina (Fig. 10). Utilizando o diagrama An-Ab-Or, com os parâmetros propostos por Elkins & Grove (1990), observa-se que os feldspatos foram reequilibrados em temperaturas inferiores a 450°C, não correspondendo portanto a temperaturas magmáticas iniciais, estando assim representando o reequilíbrio devido a fluidização tardia.

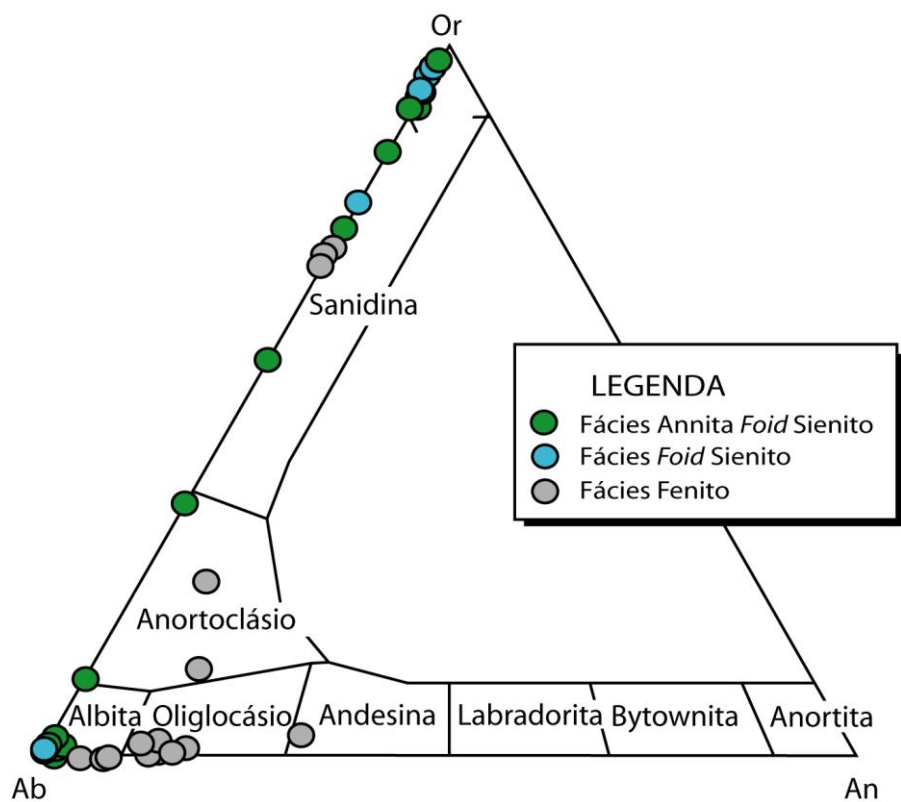


Figura 9. Diagrama Or (Ortoclásio)-Ab (albite)-An (Anortita) para nomenclatura dos feldspatos estudados.

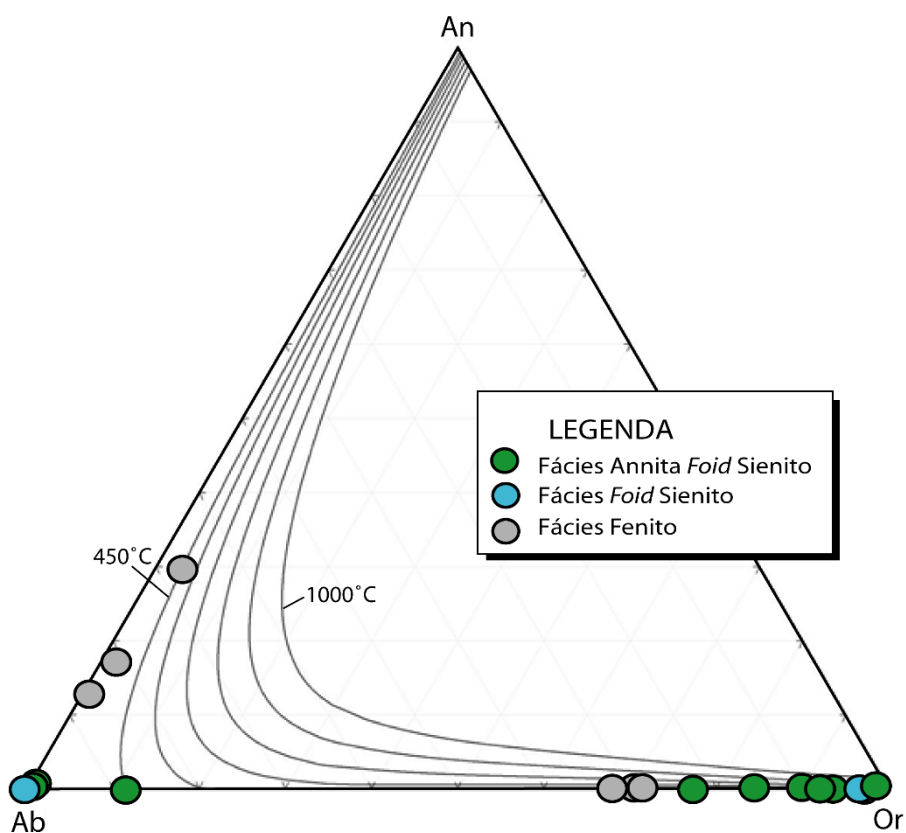


Figura 10. Diagrama An (anortita)-Ab (albite)-Or (ortoclásio) com isotermas de equilíbrio (Elkins & Grove, 1990) para os feldspatos alcalinos e suas exsoluções, obtidas a partir do *software* solvcal 2.0 (Shaoxiong & Nekvasil 1994).

VI.3. FELDSPATÓIDES

Os feldspatóides, como o nome indica, representam um grupo de minerais muito semelhantes aos feldspatos, se diferenciando por apresentar o conteúdo de SiO₂ reduzido, com cerca de 2/3 do volume presente nos feldspatos. Esses minerais são encontrados em rochas sub-saturadas em SiO₂ alcalinas, sendo acompanhados por uma mineralogia característica (piroxênios e anfibólios alcalinos).

VI.3.1. Nefelina

É o feldspatóide mais comum, ocorrendo de forma primária em rochas alcalina sub-saturadas e secundária como resultado de metassomatismo ou contaminação de magmas básicos (Deer *et al.* 1992). Perfaz um grupo homônimo onde representa o polo rico em Na e a kalsilita em Ca.

Os seus dados químicos apresentados na tabela 12 e no Anexo II, sendo realizadas 40 análises distribuídas na Fácies Annita *Foid* Sienito.

A sua fórmula ideal é:



A distribuição dos elementos se deu inicialmente com a ocupação dos sítios tetraédricos, onde inicialmente foi preenchida a posição do Si⁴⁺ até oito cátions e posteriormente a posição ocupada pelo Al³⁺ e complementada pelo Fe³⁺ até um total de oito. Em seguida foram preenchidos os sítios octaédricos, sendo em um deles ocupado com K⁺, Na⁺ e respeitando a vacância (□) presente permanecendo abaixo de dois cátions, já no outro sítio tetraédrico foi preenchido por Na⁺ até seis.

Os cálculos dos componentes puros Nefelina [Ne] (Na₆□₂Al₈Si₈O₃₂), Kalsilita [Ks] (K₂Na₆Al₈Si₈O₃₂), Quartzo [Qz] (SiO₂) foram baseados no número de cátions quando do cálculo das fórmulas estruturais. A partir dos membros finais foi inferido no diagrama Ne-Ks-Qz (Hamilton & Mackenzie 1965) uma temperatura de cristalização abaixo de 500°C (Fig. 11). A nefelina não apresenta uma variação composicional significativa.

Tabela 12. Análises químicas pontuais de cristais de nefelina.

Lâmina	2098	2098	2098	2098	2195	2195	2195	2195
Fácies	Annita Foid Sienito							
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO₂	43,10	43,40	42,90	43,40	43,10	43,20	43,20	43,10
Al₂O₃	34,00	33,90	34,70	33,80	34,00	33,70	34,00	33,90
FeO	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na₂O	16,60	16,70	15,80	16,70	16,50	16,80	16,50	16,40
K₂O	6,30	6,00	6,10	6,10	6,30	6,40	6,30	6,60
Total	100,00	100,00	100,10	100,00	99,90	100,10	100,00	100,00
Fórmula estrutural com base em 24 cátions e 32 oxigênios								
Si	8,287	8,328	8,227	8,334	8,292	8,310	8,301	8,296
Al	7,706	7,668	7,844	7,650	7,710	7,641	7,701	7,691
Fe	0,000	0,000	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	6,189	6,214	5,875	6,218	6,155	6,266	6,148	6,121
K	1,545	1,469	1,492	1,494	1,546	1,570	1,544	1,620
Total	23,727	23,679	23,535	23,697	23,704	23,788	23,694	23,729
Membros Finais								
Ne	77,259	77,621	75,350	77,503	76,973	77,617	76,881	76,333
Ks	19,288	18,345	19,137	18,623	19,333	19,451	19,310	20,208
Qz	3,452	4,034	5,513	3,875	3,694	2,932	3,809	3,459

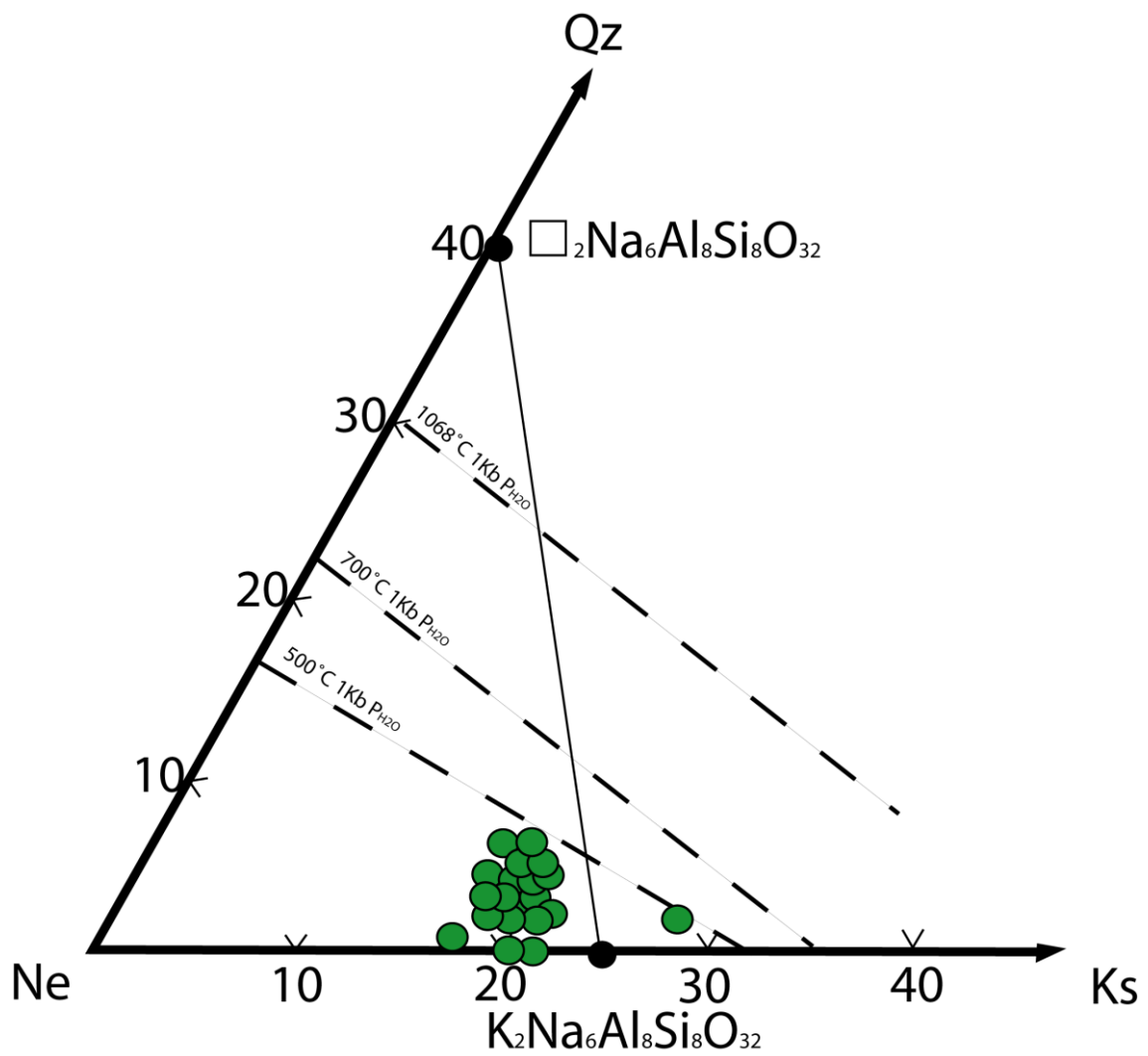


Figura 11. Diagrama ternário com as variações das moléculas de Nefelina (Ne)-Kalsilita (Ks)-Quartzo (Q) de Hamilton & MacKenzie (1965) nos cristais de nefelina da Fácies Annita Foid Sienito.

VI.3.2. Cancrinita

Ocorre em rochas alcalinas sub-saturadas comumente como alteração da nefelina e em menor frequência como grãos individualizados, formados na fase final de cristalização (Deer *et al.* 1992).

Os dados químicos obtidos estão representados na tabela 13, sendo realizadas 15 análises de cristais de cancrinita distribuídas em todas as lâminas das fácies sub-saturadas.

A fórmula ideal para a cancrinita é:



Os cátions foram distribuídos inicialmente nos dois sítios tetraédricos com Si^{4+} e Al^{3+} , respectivamente, onde cada sítio foi preenchido até seis totalizando 12. Em seguida foi realizada a ocupação do sítio octaédrico com Ca^{2+} , Na^+ e K^+ até um total de seis cátions.

Assim como na sodalita e nefelina não foram observadas grandes mudanças composicionais, sendo que na solução sólida entre a cancrinita ($\text{Ca}_2\text{Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e a vichnevita ($\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é muito limitada nas rochas estudadas.

VI.3.3. Sodalita

Comumente ocorre em nefelina sienitos e rochas associadas como carbonatitos, que sofrem metassomatização devido ao contato com rochas ígneas alcalinas. Faz parte de um grupo de minerais homônimo onde se caracteriza por apresentar Cl como um de seus constituintes principais (Deer *et al.* 1992).

Os dados químicos para a sodalita são apresentadas na tabela 14, sendo realizadas 20 análises distribuídas nas fácies sub-saturadas.

A fórmula ideal para a sodalita é:



Tabela 13. Análises químicas pontuais de cristais de cancrinita.

Lâmina	2098	2173	2173	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2200
Fácies	Annita FoId/Sienito																	
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	F.Sienito		
SiO ₂	39,58	38,29	38,51	39,15	38,93	39,15	40,00	37,65	38,08	38,29	37,44	36,79	37,44	37,65	35,94			
Al ₂ O ₃	31,37	31,74	31,55	31,93	31,37	31,18	31,74	32,31	31,93	31,37	32,31	30,80	30,99	31,74	30,42			
CaO	5,18	4,90	4,62	3,92	3,92	3,64	3,64	4,20	4,20	5,46	6,16	5,74	5,88	5,74	5,46			
Na ₂ O	15,10	13,08	13,48	14,42	14,83	16,45	14,96	14,15	15,23	14,69	14,29	16,98	15,91	13,61	15,77			
Total	91,22	88,01	88,16	89,42	89,04	90,41	90,35	88,31	89,44	89,81	90,19	90,31	90,21	88,75	87,59			
Fórmula estrutural com base em 18 cátions e 24 oxigênios																		
Si	6,136	6,101	6,128	6,143	6,152	6,130	6,213	5,998	6,017	6,041	5,894	5,861	5,935	5,993	5,876			
Al	5,732	5,961	5,919	5,907	5,841	5,755	5,811	6,067	5,948	5,832	5,996	5,783	5,791	5,956	5,862			
Ca	0,860	0,836	0,787	0,659	0,663	0,610	0,605	0,717	0,711	0,922	1,039	0,979	0,998	0,978	0,956			
Na	4,539	4,040	4,159	4,389	4,543	4,994	4,506	4,372	4,667	4,495	4,362	5,246	4,890	4,202	5,000			
Total	17,267	16,938	16,993	17,098	17,199	17,489	17,135	17,154	17,343	17,290	17,290	17,870	17,614	17,130	17,693			

Tabela 14. Análises químicas pontuais em cristais de sodalita

Lâmina		2098	2098	2098	2173	2173	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2200	2200	2200	2200
Fácies		Annita Foid/Sienito																	
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO₂	36,40	36,70	36,80	38,00	36,70	36,60	36,60	36,20	37,10	36,90	36,30	36,80	36,60	36,60	36,20	36,10	36,30	37,20	36,00
Al₂O₃	31,90	31,70	31,50	32,70	31,40	31,20	31,70	31,60	32,10	31,90	31,50	31,60	32,00	32,00	31,10	31,30	31,40	32,30	31,30
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na₂O	24,80	24,90	25,00	22,10	24,70	25,30	24,80	25,10	23,90	24,70	25,30	24,70	24,40	24,60	25,80	25,50	25,40	23,40	25,70
Cl	7,60	6,70	6,70	7,30	7,30	7,10	7,00	7,20	7,00	6,50	7,10	7,20	7,10	6,90	7,00	7,10	6,90	7,00	6,50
Subtotal	100,70	100,00	100,00	100,10	100,10	100,20	100,10	100,10	100,10	100,00	100,20	100,30	100,10	100,10	100,10	100,00	100,00	99,90	99,90
O=F,Cl	1,71	1,51	1,51	1,65	1,65	1,60	1,58	1,62	1,58	1,47	1,60	1,62	1,60	1,56	1,58	1,60	1,56	1,58	1,47
Total	98,99	98,49	98,49	98,45	98,45	98,60	98,52	98,48	98,52	98,53	98,60	98,68	98,50	98,54	98,52	98,40	98,44	98,32	98,43
Fórmula estrutural com base em 20 cátions e 24 oxigênios																			
Si	5,259	5,340	5,356	5,441	5,331	5,326	5,319	5,272	5,364	5,362	5,285	5,333	5,309	5,313	5,289	5,273	5,298	5,376	5,281
Al	5,432	5,437	5,404	5,519	5,376	5,351	5,430	5,424	5,471	5,464	5,405	5,397	5,471	5,476	5,356	5,389	5,402	5,502	5,412
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	6,947	7,025	7,056	6,136	6,956	7,139	6,988	7,087	6,700	6,959	7,142	6,940	6,862	6,925	7,309	7,223	7,188	6,558	7,310
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	1,861	1,652	1,653	1,772	1,797	1,751	1,724	1,777	1,716	1,601	1,752	1,769	1,746	1,698	1,734	1,758	1,707	1,715	1,616
Total	19,499	19,454	19,469	18,867	19,460	19,568	19,461	19,560	19,251	19,386	19,584	19,439	19,387	19,411	19,688	19,643	19,595	19,151	19,668

Os elementos foram distribuídos inicialmente nas posições tetraédricas, onde o sítio do Si^{4+} foi ocupado até seis cátions e a posição ocupada pelo Al^{3+} e complementada pelo Fe^{3+} também foi preenchida até seis cátions. Posteriormente o sítio octaédrico foi preenchido por Na^+ , Ca^{2+} e K^+ até oito cátions. Os íons de Cl^- foram distribuídos até um total de dois, ocupando as cavidades entre os tetraedros e octaedros.

As composições não apresentaram variações químicas importantes, sendo considerado como o polo puro sodalita já que apresenta valores de Cl^- e não possui SO_4^- e S^- , como pode ser observado no grupo: sodalita: $\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{Cl}_2$ – noseana: $\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{SO}_4$ – hauinita $(\text{Na,Ca})_{4-8}[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}](\text{SO}_4,\text{S})_{1-2}$.

VI.4. MICAS

As micas ocorrem em uma grande variedade de rochas ígneas desde saturadas e sub-saturadas em óxido de silício. A composição das micas comumente reflete o tipo de rocha ígnea associada, de forma geral com o aumento da cristalização é observado um aumento em Fe e diminuição no conteúdo de Mg (Deer *et al.* 1992).

Os dados químicos obtidos para as micas são apresentadas na tabela 15 e no Anexo III, onde foram realizadas 59 análises, sendo 44 pertencentes a porção sub-saturada e 15 do fenito. A fórmula estrutural foi calculada considerando 20 oxigênios e 14 a 16 cátions, representando respectivamente os tipos di-octaédrico e tri-octaédrico.

A fórmula geral das micas é:



$\text{Z} = \text{Si}^{4+}, \text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}^{4+}$

$\text{Y} = \text{Al}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Cr}^{3+}, \text{Ti}^{4+}, \text{Li}^+$

$\text{X} = \text{K}^+, \text{Na}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Ba}^{2+}, \text{Rb}^+, \text{Cs}^+$

$\text{W} = \text{OH}^-, \text{F}^-, \text{Cl}^-$

Tabela 15. Análises químicas representativas pontuais de micas.

Lâmina	2098	2098	2173	2173	2195	2195	2200	2200	2202B	2202B
Fácies	Annita Foid Sienito						Foid Sienito		Fenito	
Análise	1	2	5	8	11	36	43	44	54	55
SiO₂	33,37	33,59	32,09	30,38	32,09	31,87	32,52	31,87	35,30	35,51
TiO₂	1,67	1,67	0,00	0,00	2,00	0,17	3,00	2,34	6,34	6,17
Al₂O₃	14,93	15,12	17,57	21,35	16,44	18,90	16,06	17,38	14,17	13,98
FeO	37,44	37,57	37,05	35,12	35,12	34,35	29,59	29,59	20,07	20,20
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,52
MgO	0,00	0,00	0,50	0,00	1,16	0,83	1,82	1,82	10,28	10,28
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,54	0,00	0,00	0,40	0,40
K₂O	9,28	9,28	9,28	9,64	9,28	9,28	8,67	8,55	9,03	8,91
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	2,01
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,20	0,10
Subtotal	96,68	97,21	96,48	96,49	96,73	95,93	91,67	91,56	98,06	98,39
O=F,Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,13	0,15
Total	96,68	97,21	96,48	96,49	96,70	95,93	91,67	91,56	97,93	98,24
Fórmula estrutural com base em 16 cátions e 20 oxigênios										
Si	5,526	5,525	5,312	4,986	5,276	5,241	5,463	5,356	5,376	5,405
Al^{iv}	2,474	2,475	2,688	3,014	2,724	2,759	2,537	2,644	2,544	2,508
Al^{vi}	0,439	0,456	0,741	1,118	0,462	0,902	0,644	0,800	0,000	0,000
Ti	0,208	0,206	0,000	0,000	0,248	0,021	0,379	0,295	0,726	0,706
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	5,184	5,168	5,130	4,822	4,830	4,723	4,158	4,159	2,557	2,571
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,067
Mg	0,000	0,000	0,123	0,000	0,285	0,203	0,457	0,457	2,334	2,333
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,172	0,172	0,000	0,000	0,119	0,119
K	1,959	1,946	1,959	2,018	1,945	1,945	1,859	1,833	1,755	1,731
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,120
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,096	0,144
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,052	0,026
Total	15,790	15,776	15,953	15,957	15,970	15,966	15,496	15,544	15,711	15,730
Fe/Fe+Mg	1,000	1,000	0,977	1,000	0,944	0,959	0,901	0,901	0,523	0,524

A ocupação sítio tetraédrico Z inicia-se o preenchimento com Si^{4+} , seguido por Al^{3+} , Fe^{3+} e Ti^{4+} até oito cátions. O sítio octaédrico Y deve ser ocupado inicialmente Al^{3+} , seguido por Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{3+} , Ti^{4+} e Li^{+} nessa ordem de ocupação até seis. O sítio X, de coordenação octaédrica, deve ser preenchido por K^{+} , Na^{+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Rb^{+} e Cs^{+} nessa ordem até dois cátions.

As micas estudadas pertencem ao grupo das micas trioctaédricas, da Série da Biotita, representando o mineral máfico mais abundante. Nas fácies sub-saturadas é classificada como annita.

Com base no diagrama Al-Fe-Mg (Fig.12) é possível observar uma evolução marcada pelo aumento nos conteúdos de Fe (2,194-2,755 para 4,029-5,184), Al^t (2,418-2,659 para 2,913-4,131) e razões Fe/Fe+Mg que passam de 0,452 até 1, tornando-se assim mais enriquecidas nas moléculas de siderofilita e principalmente annita.

Comparando com os dados obtidos com os de outra província sub-saturada (Chilwa, Woolley 1988) é possível observar um maior conteúdo em Al^t e a mesma orientação do *trend* evolutivo, onde os termos mais evoluídos apresentam um enriquecimento em Fe. A análise com outros corpos da PASEBA também apresenta uma evolução similar, sendo a passagem de biotita para annita descrita por Santos (2008) no *Stock* de Rio Pardo e o enriquecimento na molécula de annita a medida que ocorrem as rochas com maior conteúdo em feldspatóides descrita por Cabral (2008) no *Stock* de Itajú do Colônia.

VI.5. DIOPSÍDIO

Ocorre em rochas alcalinas de forma geral desde basaltos até kimberlitos, sendo também associado a rochas metamórficas principalmente em metamorfismo de contato em sedimentos (Deer *et al.* 1992).

O diopsídio representa o polo rico em Mg na solução sólida que faz com a hedenbergita que representa o polo enriquecido em Fe.

Os dados químicos obtidos para o diopsídio são apresentados na tabela 16, onde foram realizadas 13 análises na lâmina 2202B referente a Fácies Fenito. Para a sua classificação, seguiu-se as recomendações de Morimoto (1988).

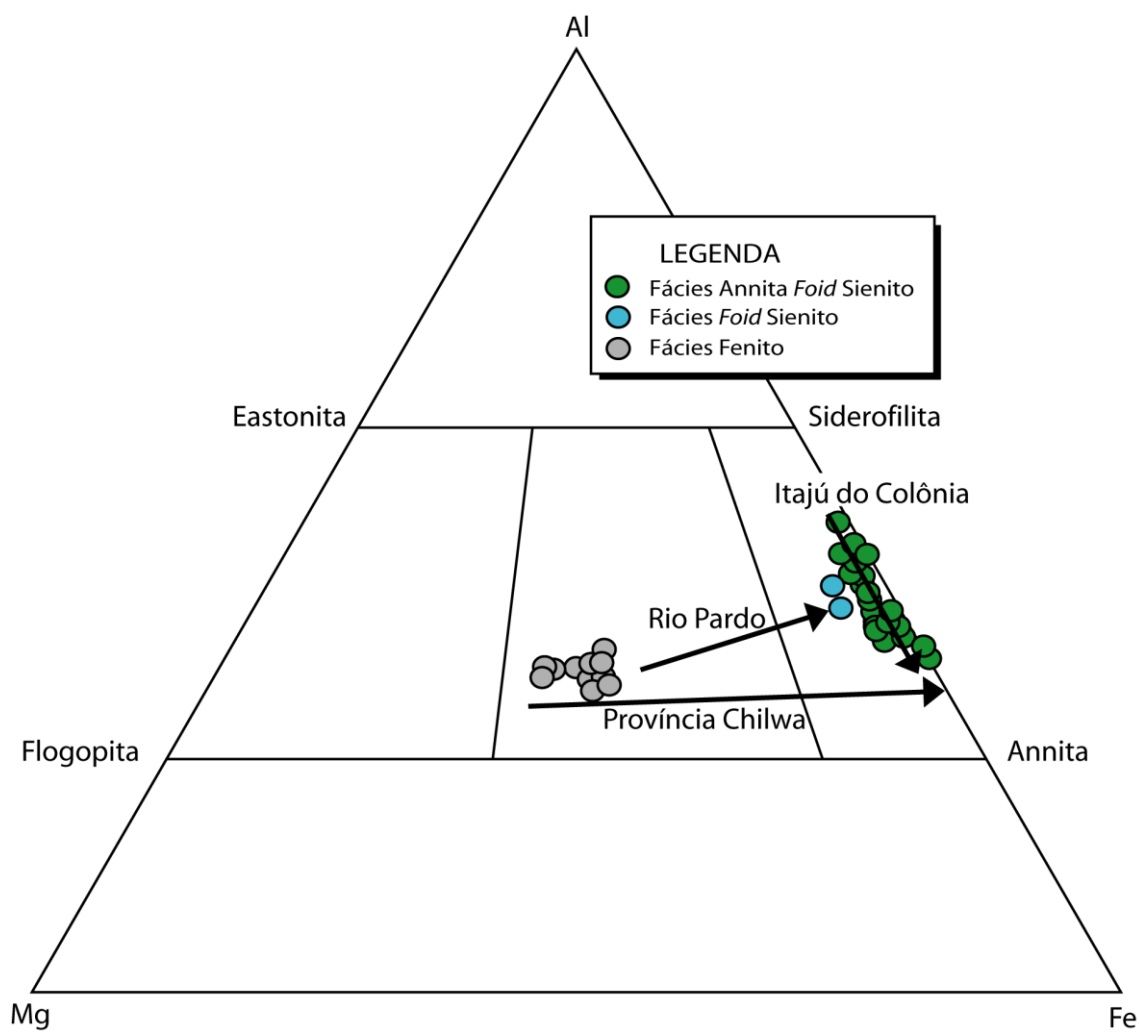
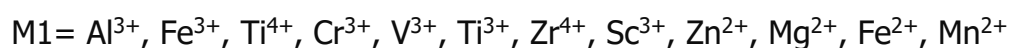
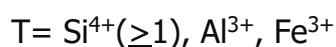
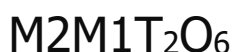


Figura 12. Diagrama ternário Al-Mg-Fe para classificação da biotita após Deer *et al.* (1992) com *trends* evolucionais para micas da província de Chilwa (Wooley 1988), *Stock* Rio Pardo (Santos 2008) e Itajú do Colônia (Cabral 2008).

Tabela 16. Análises químicas pontuais de cristais de diopsídio.

Lâmina	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B
Fácies	Fenito												
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	53,20	53,30	53,10	51,80	52,70	52,50	52,30	52,10	52,40	53,90	53,90	54,60	52,70
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,80	0,90	0,90	0,90	0,00	0,00	0,00	1,00
Al ₂ O ₃	1,20	1,60	2,20	2,50	2,20	2,60	2,30	2,60	2,40	2,70	2,70	1,60	2,60
FeO	10,20	8,80	8,70	10,60	8,90	8,10	8,10	9,50	8,60	9,20	7,70	9,50	8,40
MnO	0,70	0,60	0,50	0,80	0,60	0,70	1,00	0,60	0,60	0,70	0,00	0,00	0,70
MgO	12,20	13,30	12,90	11,30	12,80	13,00	13,10	12,10	12,90	11,70	13,30	12,10	12,50
CaO	20,70	21,00	21,20	20,30	20,90	20,70	20,80	20,50	20,70	19,30	21,00	20,50	20,80
Na ₂ O	1,80	1,40	1,50	1,80	1,70	1,60	1,60	1,70	1,50	2,60	1,50	1,80	1,30
Total	100,00	100,00	100,10	100,00	99,80	100,00	100,10	100,00	100,00	100,10	100,10	100,10	100,00
Fórmula estrutural com base em quatro cátions e seis oxigênios													
Si	1,978	1,972	1,962	1,936	1,952	1,941	1,933	1,937	1,942	1,987	1,982	2,024	1,960
Ti	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,022	0,025	0,025	0,025	0,000	0,000	0,000	0,028
Al	0,053	0,070	0,096	0,110	0,096	0,113	0,100	0,114	0,105	0,117	0,117	0,070	0,114
Fe ³⁺	0,122	0,086	0,087	0,099	0,123	0,075	0,098	0,084	0,069	0,095	0,025	0,012	0,005
Fe ²⁺	0,196	0,186	0,182	0,233	0,153	0,175	0,152	0,211	0,198	0,188	0,212	0,282	0,256
Mn	0,022	0,019	0,016	0,025	0,019	0,022	0,031	0,019	0,019	0,022	0,000	0,000	0,022
Mg	0,676	0,734	0,711	0,629	0,707	0,716	0,722	0,671	0,713	0,643	0,729	0,669	0,693
Ca	0,825	0,833	0,839	0,813	0,829	0,820	0,824	0,817	0,822	0,762	0,828	0,814	0,829
Na	0,130	0,100	0,107	0,130	0,122	0,115	0,115	0,123	0,108	0,186	0,107	0,129	0,094
Total	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Q	1,70	1,75	1,73	1,67	1,69	1,71	1,70	1,70	1,73	1,59	1,77	1,76	1,78
J	0,26	0,20	0,21	0,26	0,24	0,23	0,23	0,25	0,22	0,37	0,21	0,26	0,19
Membros Finais													
En	36,75	39,50	38,74	34,99	38,61	39,61	39,50	37,23	39,16	37,58	40,66	37,62	38,39
Fs	18,43	15,67	15,51	19,82	16,09	15,06	15,42	17,44	15,68	17,86	13,20	16,57	15,69
Wo	44,82	44,83	45,75	45,18	45,31	45,33	45,08	45,33	45,16	44,56	46,14	45,81	45,91

A fórmula geral dos piroxênios é:



A distribuição dos elementos nos sítios segue a ordem disposta acima, conforme Morimoto (1988). O sítio T, de coordenação tetraédrica, deve ser inicialmente ocupado Si^{4+} , e a diferença que existir para dois cátions, utiliza-se os Al^{3+} e Fe^{3+} nessa ordem. A posição M1, de coordenação tetraédrica, deve ser preenchida com o Al^{3+} e Fe^{3+} , restante da posição T e, no caso de não ser preenchido, utiliza-se Ti^{4+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Ti^{3+} , Zr^{4+} , Sc^{3+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} até um. A disposição M2, também tetraédrica, é preenchida pelos cátions Mg^{2+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} não utilizados em M1 e, caso existam, adiciona-se Li^+ , Ca^{2+} e Na^+ até um cátion.

De acordo com o diagrama Q-J (Fig. 13) proposto por Morimoto (1988) o piroxênio foi classificado como do tipo Quad (Ca-Mg-Fe). Já no Wo-En-Fs (Fig. 14) foi obtida a nomenclatura de diopsídio com composição variando de 34,9%-40,6% En; 13,2%-19,8% Fs; e 44,5%-45,9% Wo. Os cristais apresentaram composições uniformes, não sendo observados zoneamentos composicionais significativos.

Ao analisar os dados obtidos no CAFA com os piroxênios da Fácies Fenito com os dados exibidos por Cabral (2008) no *Stock* Itajú do Colônia e Santos (2008) no *Stock* Rio Pardo, os clinopiroxênios da PASEBA representam uma série magmática com dois diferentes graus de evolução, onde a ocorrência de diopísio passando para aegirina e aegirina-augita nos termos mais evoluídos é típica de muitas suítes alcalinas, como as descritas para a Província de Chilwa na África (Woolley *et al.* 1986).

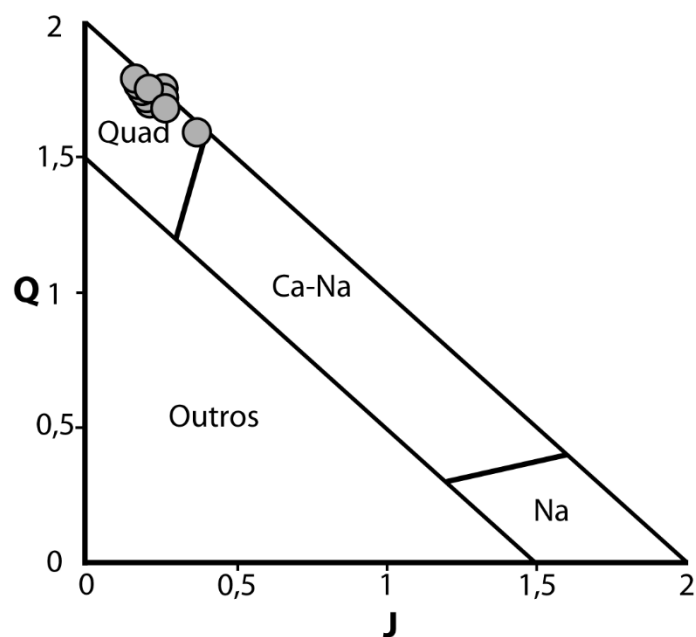


Figura 13. Diagrama de classificação dos piroxênios segundo Morimoto (1988) com base em $Q = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+}$ versus $J = 2\text{Na}$ para aqueles do fenito.

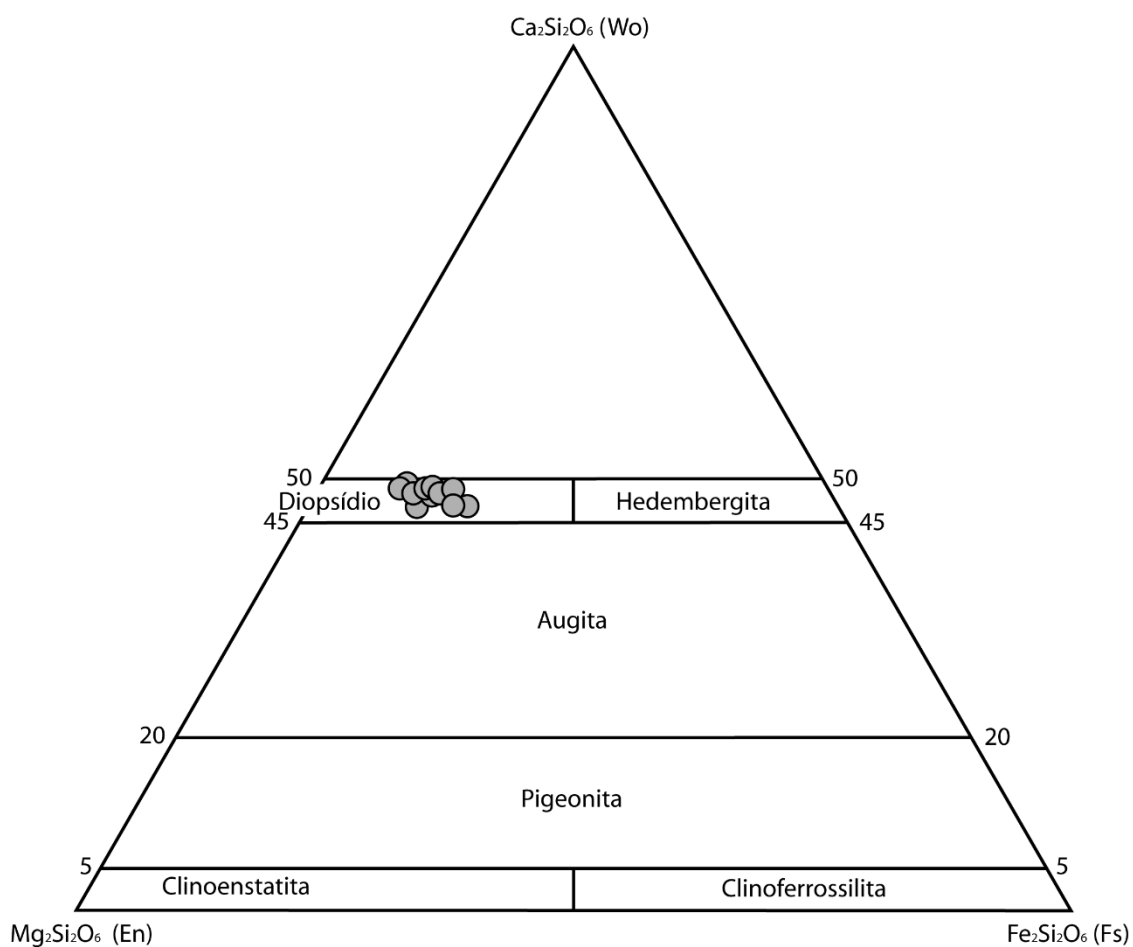


Figura 14. Diagrama de classificação dos piroxênios segundo Morimoto (1988) com base em Wo-En-Fs (Quad), onde wollastonita [Wo] = $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$; enstatita [En] = $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ e ferrossilita [Fs] = $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ para aqueles cristais encontrados no fenito.

VI.6. CARBONATOS

Correspondem a um grupo de minerais com radical $(\text{CO}_3)^{2-}$, sendo conhecidas mais de 60 espécies. Várias ocorrências são consideradas raras e apresentam em sua estrutura água, íons de hidroxila e halogenetos, componentes com radicais silicáticos, sulfetados e fosfatados (Deer *et al.* 1992).

Em analogia com outras províncias alcalinas em que carbonatitos são comumente associados, não foram descritos até então corpos desta natureza na PASEBA, sendo relatados apenas ocorrências sob a forma de diques de carbonatito (Rosa *et al.* 2007) ou disseminados nos sienitos.

A origem de carbonatitos correlacionados com rochas silicáticas alcalinas apresenta três formas de ocorrência, como produto da cristalização fracionada de um magma alcalino (Le Bas 1981), através de imiscibilidade de líquidos (Gittins 1989) ou derivado diretamente do manto peridotítico (Bailey 1989).

Na PASEBA a origem dos carbonatos se deu através do enriquecimento em CO_2 através do processo de cristalização fracionada envolvendo os minerais essenciais que são incapazes de alojar o CO_2 na sua estrutura (Rosa *et al.* 2005c).

VI.6.1. Calcita

Carbonato de cálcio é polimórfico e apresenta cinco tipos na natureza, onde a calcita e a aragonita são as formas mais comuns. Os carbonatos ocorrem também duas formas sintéticas que ocorrem a altas pressões sendo a calcita II e calcita III, já a $\mu\text{-CaCO}_3$ é hexagonal e ocorre a altas pressões e temperaturas (Deer *et al.* 1992).

A calcita é tida como o polimorfo de baixa temperatura, podendo recrystalizar para aragonita em poucas horas com a elevação da temperatura. É considerada um dos minerais mais comuns, sendo uma importante formadora de rochas sedimentares, metamórficas, ígneas e ainda comumente observada em mineralizações secundárias e hidrotermais (Deer *et al.* 1992).

A sua ocorrência em rochas ígneas alcalinas como nefelinas sienitos sugerem que a associação é devido a contaminação do magma com rochas

carbonatíticas, ocorrendo devido aos carbonatos primários magmáticos (Srivastava *et al.* 2005) ou por imiscibilidade de líquidos entre o magma carbonático e o silicático (Halama *et al.* 2005). As análises químicas da calcita estão na tabela 17 e no Anexo IV, onde foram realizadas 33 análises, estando distribuídas na Fácies Annita *Foid/Sienito*.

A fórmula ideal da calcita é:



As suas composições foram constantes, sendo comumente observados volumes das moléculas de rodocrosita (MnCO_3), siderita (FeCO_3) e estroncionata (SrCO_3), respectivamente com valores de 3,29-6,13%, 1,83-6,08%, 0,93-2,13%. Por vezes maiores concentrações de Fe e Sr existiam na calcita em regiões com uma tonalidade mais escura nas imagens BSE. Nos cristais que apresentaram a ocorrência disseminada de ancilita foram registradas quantidades de Na (0,2-0,6%).

A ocorrência da calcita disseminada em todo o CAFA preferencialmente nos interstícios dos cristais de microclínio e nefelina, assim como formação da cancrinita representam a fase rica em CO_2 que ocorreu no estágio final de cristalização.

VI.6.2. Estroncianita

Ocorre como massas fibrosas em veios em calcários e margas, em depósitos de veios hidrotermais e também observada em rochas ígneas (Deer *et al.* 1992). Apresenta estrutura similar a aragonita, mas com diferenças na célula unitária devido ao íon de Sr ser maior que o Ca (Deer *et al.* 1992).

Os dados da estroncionita estão na tabela 17, onde foram realizadas 5 análises (15-19), estando distribuídas nas Fácies Annita *Foid/Sienito*.

A fórmula ideal da estroncianita é:



Tabela 17. Análises químicas pontuais de cristais de calcita e estroncionita.

Tabela 177: Análises químicas pontuais de cristais de estanho e estanho-antimônio.																			
Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies	Annita <i>Foid</i> Sienito																		
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
% em elemento																			
Ca	43,60	43,50	43,20	43,80	44,30	48,00	43,60	42,10	44,80	46,30	43,10	42,80	43,50	43,80	14,20	14,20	14,30	14,50	12,10
Mn	3,10	3,10	2,90	2,90	2,70	2,70	2,70	2,80	2,50	2,50	3,50	3,80	3,00	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	3,90	3,70	3,50	3,30	3,40	1,30	4,50	3,90	3,40	3,50	3,40	3,50	3,80	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
Sr	1,80	2,30	1,60	2,00	2,00	0,00	1,00	2,10	1,80	2,00	1,80	1,60	1,60	1,50	44,40	44,50	41,40	40,80	43,50
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	2,30	2,30
Na	0,00	0,00	0,60	0,60	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,80	3,50	4,00	3,90
Cl	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	52,60	52,60	51,80	52,60	52,40	52,00	52,00	51,10	52,70	54,90	51,80	51,70	51,90	51,20	59,90	59,50	61,30	61,60	62,40
Moléculas																			
CaCO ₃	88,11	87,93	88,96	89,03	89,27	94,30	88,52	87,89	89,80	89,81	88,11	87,68	88,51	89,84	41,15	41,10	42,25	42,86	36,56
MnCO ₃	4,57	4,57	4,36	4,30	3,97	3,87	4,00	4,26	3,66	3,54	5,22	5,68	4,45	4,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeCO ₃	5,66	5,37	5,17	4,81	4,92	1,83	6,56	5,84	4,89	4,87	4,99	5,15	5,55	4,71	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
SrCO ₃	1,66	2,13	1,51	1,86	1,84	0,00	0,93	2,01	1,65	1,77	1,68	1,50	1,49	1,41	58,85	58,90	55,94	55,16	60,11
BaCO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,81	1,98	2,03
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ocorre com formas anédricas com tamanhos desde 1 µm a 20 µm. Intimamente relacionada com calcita, onde por vezes ocorre inclusa e também ocorre na associação entre apatita, monazita.

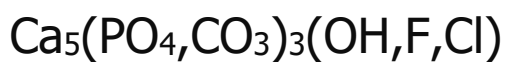
A sua composição apresenta altos valores da molécula de Calcita (36,56-42,86%) e menores em siderita (1,3%) e witherita (1,81-2,03%).

VI.7. APATITA

A apatita é mineral acessório comumente encontrado em rochas ígneas. Por vezes, pode apresentar conteúdos de ETR que podem caracterizar o comportamento de fases acessórias durante a origem e evolução de magmas máficos, intermediários e félsicos (Harrison & Watson 1984).

Os dados químicos para a apatita estão contidos na tabela 18, onde foram realizadas 19 análises distribuídas em todas as fácies estudadas.

A fórmula ideal da apatita é:



A distribuição dos elementos ocorreu com o preenchimento da posição do P^{3+} com a ocorrência de Si^{4+} até um total de seis cátions, a posição do Ca^{2+} foi ocupada também por Sr^+ , Na^+ , Al^{3+} , Ce^{3+} e Fe^{2+} até um total de seis cátions. Já na posição dos íons ocorreu predominantemente o íon de F^- sendo observado por vezes o Cl^- perfazendo um total de dois.

Possui séries isomórficas com os membros finais: Fluor-apatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$, Cloro-apatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}]$, Hidroxi-apatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}]$, Carbonato-apatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{F}, \text{OH})]$.

A apatita estudada foi classificada como flúor-apatita, sendo que por vezes apresenta conteúdos mínimos de Cl em sua estrutura. Foram observados dois grupos de apatitas, as que ocorrem de forma anédrica e as euédricas. Em alguns cristais anédricos em associação com monazita e ancilita (Fig. 15) foram observados valores de Ce, que podem sugerir formação em estágio magmático tardio cuja variação de suas composições podem ser pela substituição $2\text{Ca}^{2+} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{REE}^{3+}$ (Fig. 16) em sua estrutura, segundo Rønbo (1989).

Tabela 18. Análises químicas pontuais de cristais de apatita.

Lâmina	2098	2098	2098	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2200	2200	2202B	2202B	2202B	2202B	2200	2200	2202B	2202B
Fácies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Foid/Sienito		Fenito			Foid/Sienito		Fenito		
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P ₂ O ₅	41,30	42,60	41,30	42,50	42,40	41,80	40,10	41,70	41,70	39,40	39,50	43,10	42,70	42,80	42,80	38,04	39,42	40,56	40,10
SiO ₂	0,60	0,00	0,60	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	2,10	0,00	0,50	0,00	0,00	1,93	1,28	0,43	0,43
Al ₂ O ₃	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00
CaO	47,90	51,10	47,90	50,00	50,90	49,40	51,40	49,40	49,80	49,60	50,50	52,80	51,70	52,10	52,20	48,83	49,25	48,27	47,43
Na ₂ O	1,20	0,90	1,20	0,80	0,90	1,20	1,20	1,20	0,90	0,30	0,40	0,00	0,00	0,30	0,00	0,40	0,40	0,00	0,00
SrO	2,50	0,80	2,50	2,10	1,70	0,90	0,80	1,80	1,00	0,60	0,60	0,00	0,30	0,10	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce ₂ O ₃	2,60	0,00	2,60	0,00	0,00	2,40	2,70	2,10	1,90	3,20	2,50	0,00	0,00	0,60	0,10	2,34	0,00	0,00	0,00
F	4,10	4,00	4,10	4,10	4,10	4,40	4,00	3,90	4,70	4,60	4,40	3,70	4,30	3,80	4,30	4,40	5,20	4,60	4,90
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20
Subtot	98,85	98,88	98,85	98,70	98,69	98,53	98,91	98,91	98,21	98,27	98,43	98,84	98,28	98,62	98,25	94,31	93,99	92,29	91,05
O=F,Cl	0,83	0,81	0,83	0,83	0,83	0,89	0,81	0,79	0,96	0,93	0,89	0,82	0,94	0,77	0,87	0,89	1,06	0,93	1,00
Total	98,02	98,07	98,02	97,86	97,86	97,64	98,10	98,12	97,25	97,33	97,53	98,02	97,34	97,85	97,38	93,42	92,94	91,35	90,05
Fórmula estrutural com base em 16 cátions e 25 oxigênios																			
P	6,132	6,113	6,132	6,139	6,141	6,183	5,995	6,155	6,169	5,882	5,861	6,172	6,150	6,173	6,175	5,855	5,972	6,202	6,216
Si	0,105	0,000	0,105	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,406	0,368	0,000	0,085	0,000	0,000	0,350	0,230	0,077	0,078
Al	0,000	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,096	0,000	0,000
Ca	9,001	9,280	9,001	9,141	9,330	9,248	9,725	9,228	9,324	9,371	9,483	9,569	9,424	9,509	9,532	9,512	9,444	9,341	9,304
Na	0,408	0,296	0,408	0,265	0,299	0,407	0,411	0,406	0,305	0,103	0,136	0,000	0,000	0,099	0,000	0,143	0,140	0,000	0,000
Sr	0,254	0,079	0,254	0,208	0,169	0,091	0,082	0,182	0,101	0,061	0,061	0,000	0,030	0,010	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce	0,056	0,000	0,000	0,000	0,000	0,051	0,058	0,045	0,041	0,069	0,053	0,000	0,000	0,012	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	15,956	15,838	15,901	15,838	15,938	15,980	16,271	16,015	15,940	15,892	15,962	15,742	15,689	15,803	15,739	15,860	15,882	15,620	15,598

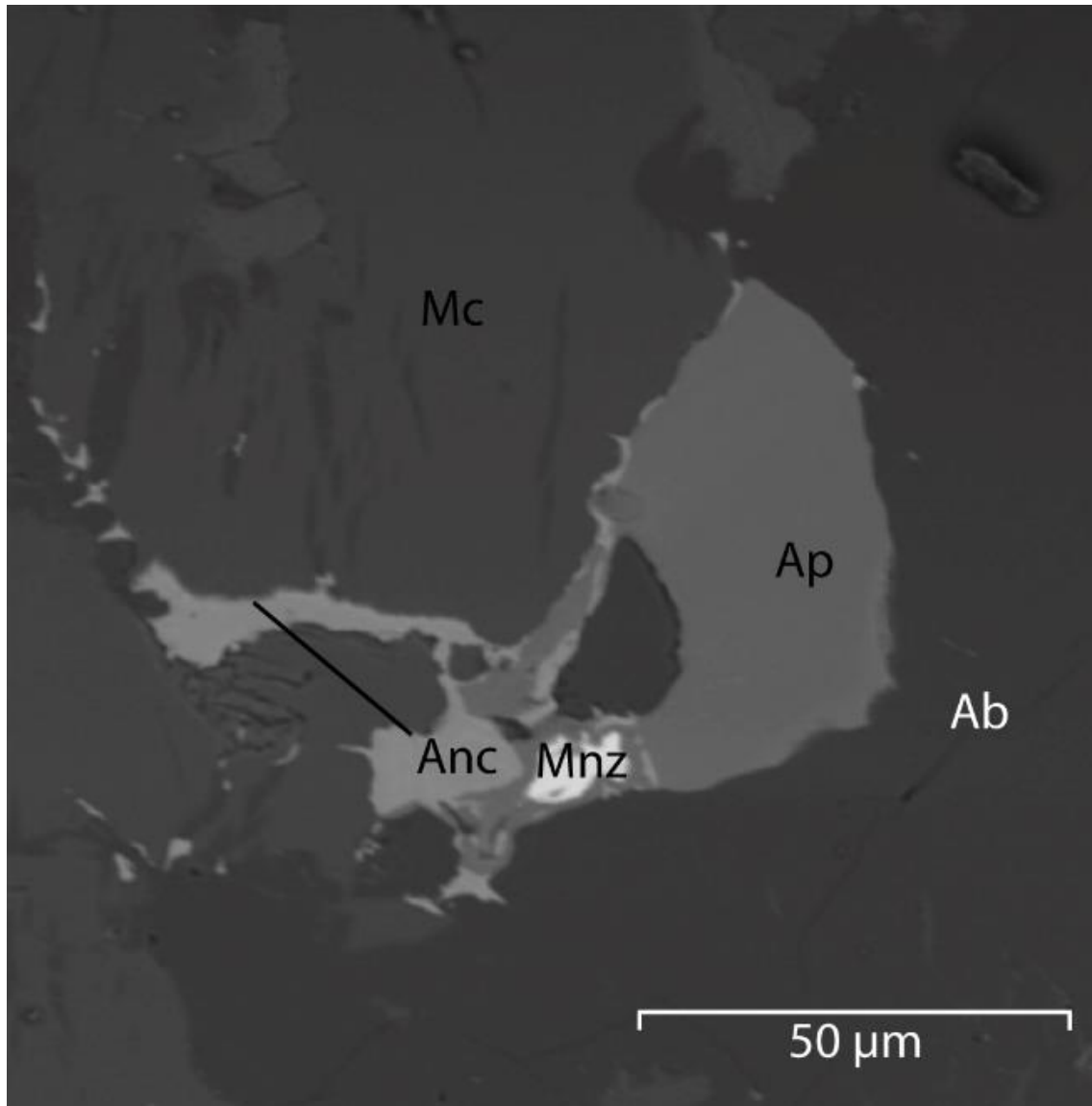


Figura 15. Imagem BSE da lâmina 2200 ilustrando a ocorrência de apatita (Ap) anédrica com Ce, em associação com Monazita (Mnz) e Ancilita (Anc). Também observado na imagem a ocorrência de microclinio (Mc) com exsolução de albita (Ab).

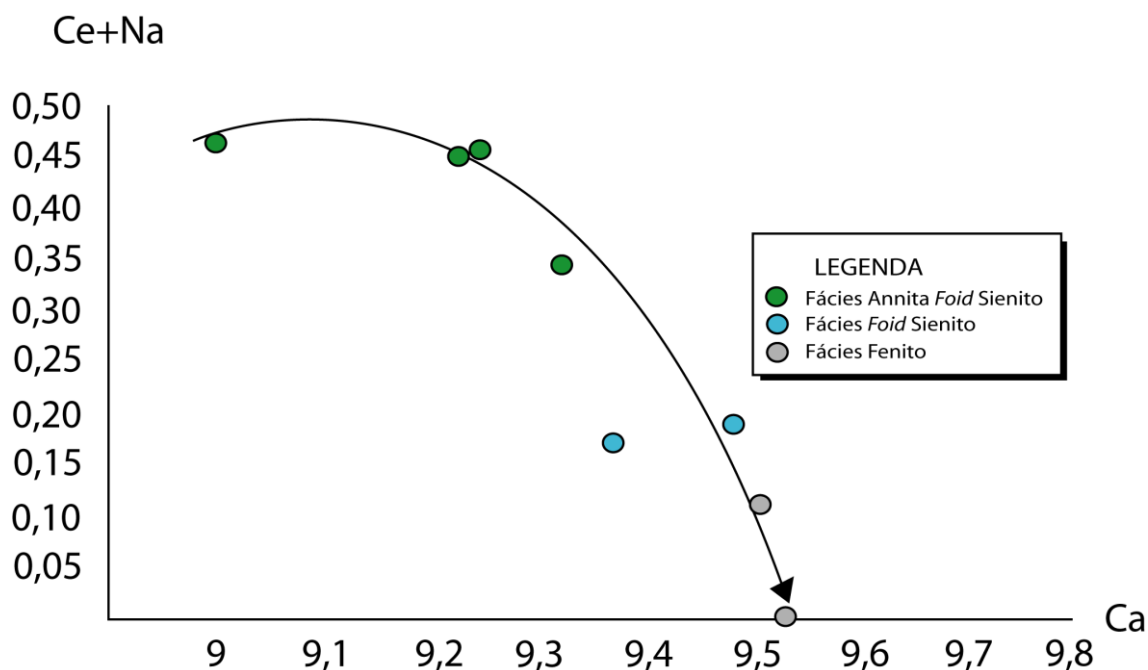


Figura 16. Diagrama Ce+Na *versus* Ca demonstrando a substituição de Ca por Ce+Na nas apatitas anédricas em associação com monazita e ancilita.

Nas fácies *Foid Sienito* e Fenito foi observada a possível ocorrência de carbonato-apatita (francolita), onde as análises apresentam um conteúdo total de óxidos em torno de 90-94% (Tab. 18, análises16-19). Embora tanto o CO_3^{2-} e o OH^- não tenham sido quantificados a ocorrência de CO_3^{2-} é a mais provável devido aos conteúdos de F que não são observados nos registros das hidroxi-apatitas na literatura.

A ocorrência de apatita enriquecida em Na e ETR é uma característica de rochas peralcalinas como as descritas por Rønsbo (1989) na intrusão de Ilímaussaq, Groelândia. No CAFA foram observadas duas famílias de apatita, uma formada nos estágios iniciais de cristalização que foram descritas na petrografia e a segunda geração ocorre de forma irregular comumente associada a monazita e ancilita, além de apresentar o enriquecimento em Na e Ce.

VI.8. ZIRCÃO

Mineral acessório comum que ocorre em uma grande variedade de rochas ígneas, metamórficas, sedimentares. Pode conter elementos menores a traços que permitem investigações geoquímicas como evolução mantélica e crustal (Liew & McCulloch 1985; Hanchar *et al.* 1994) e a sua utilização predominante que é a datação, seja para cristalização de rochas ígneas (Kruner *et al.* 1991), metamorfismo (Vavra *et al.* 1996) ou estudos de proveniências em rochas sedimentares (Li *et al.* 2007).

O zircão geralmente ocorre como pequenos cristais euédricos sendo comumente inclusos nos minerais essenciais. Em kimberlitos e álcali basaltos são observados megacristais (Deer *et al.* 1992).

As análises químicas para o zircão são exibidas na tabela 19, sendo realizadas 17 análises, distribuídas nas fácies Annita *Foid*/Sienito e Fenito.

A fórmula ideal do zircão é:



Na distribuição dos elementos na fórmula estrutural a posição tetraédrica do Si^{4+} e que pode ser complementada por Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} , Na^{+} e Mn^{2+} foi preenchida até um cátion. A posição dodecaédrica ocupada pelo Zr^{4+} e que pode conter Nb^{5+} , U^{3+} , Pd^{4+} , Hf^{4+} e Th^{4+} foi preenchida até um cátion. Os cristais ocorreram de forma anédrica com tamanhos variando desde $<1\mu\text{m}$ a 1mm. Durante as descrições petrográficas foram relatados cristais euédricos de forma constante, mas partir do MEV foram observados cristais anédricos (Fig. 17) ocupando fraturas e também inclusos nos minerais essenciais, configurando assim a ocorrência de zircão precoce e tardio. Foram observadas inclusões de torianita e por vezes ocorreu coroando cristais de baddeleyíta.

Foram observados conteúdos de Nb (0,6 - 2,1%) e Hf (0,2 - 2,1%) sendo registrados em todos os cristais analisados e U (0,2 - 1,2%), Th (0,1 - 1,7%) e Y (0,1 - 0,8%) ocorrendo em grande parte.

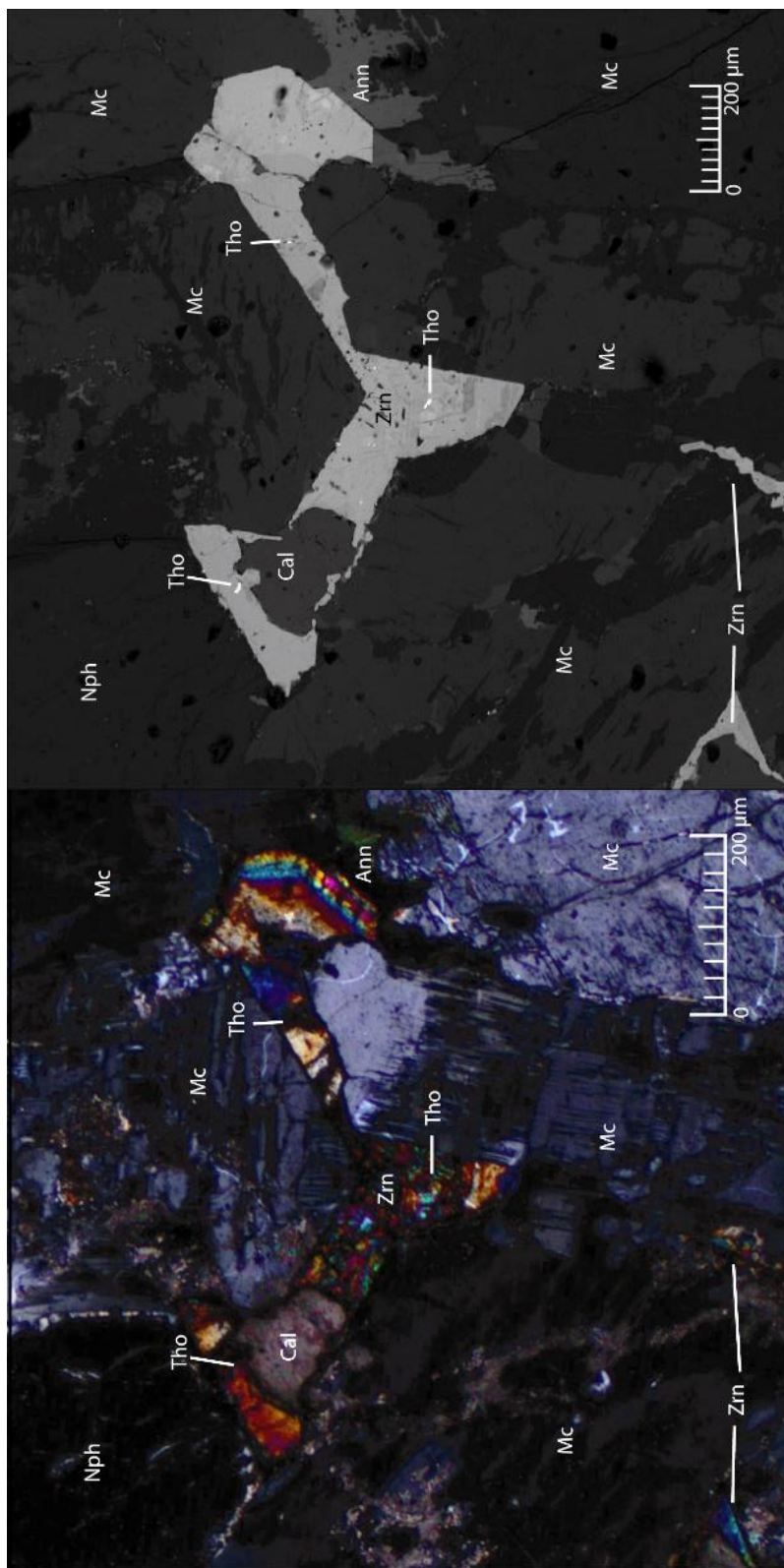


Figura 17. Imagens obtidas em mesma região da lâmina delgado-polida 2195 (Fácies Annita Foid Sienito), em microscopia petrográfica em luz transmitida polarizada (esquerda) e em microscopia eletrônica de varredura (direita) por BSE apresentando a textura do *foid sienito* do Complexo Alcalino Floresta Azul. Cristais de: zircão (Zn), microclínio (Mc), nefelina (Nph), annita (Ann), calcita (Cal) e torianita (Tho). No centro da imagem observa-se um grande cristal de zircão anédrico que ocorre de forma intersticial e apresenta inclusões de torianita.

VI.9. ÓXIDOS DE FERRO E TITÂNIO

Possuem grande importância por apresentarem propriedades magnéticas que variam de acordo com as proporções de ferro ferroso (Fe^{2+}), ferro férrico (Fe^{3+}) e titânio (Ti^{4+}) que ocupam os interstícios dos íons de oxigênios na rede cristalina dos minerais (Dana 1978).

VI.9.1. Ilmenita

Mineral acessório comum que ocorre disseminado em rochas ígneas, que pode ser formado nos estágios iniciais de cristalização ou serem formadas durante o resfriamento do magma sendo exsolvidas de magnetitas titaníferas (Deer *et al.* 1992).

Apresenta soluções sólidas com a geikielita (MgTiO_3) e pirofanita (MnTiO_3).

A ilmenita é um mineral que normalmente resiste ao intemperismo, comumente ocorrendo em grandes quantidades em fontes secundárias tais como areias de praia, onde é minerada.

Os dados da ilmenita estão na tabela 20, onde foram realizadas 19 análises, estando presente nas fácies Annita *Foid* Sienito e principalmente na Fenito.

A fórmula geral da ilmenita é:



Os elementos foram inicialmente distribuídos na posição hexagonal ocupada preferencialmente pelo Ti^{4+} e em seguida por Si^{4+} e Al^{4+} até um total de um cátion. O Fe ocorreu em suas duas valências (Fe^{3+} e Fe^{2+}) e o seu sítio hexagonal foi preenchido também por Mn^{2+} , Mg^{2+} e Ca^{2+} até um total de um cátion.

A ilmenita não é um mineral frequente nas rochas estudadas, ocorrendo de forma anédrica a por vezes subédrica, preenchendo fraturas e comumente associada com biotita e principalmente magnetita.

Tabela 20. Análises químicas pontuais em cristais de ilmenita.

Lâmina	2173	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B
Fácies	AF Sienito																		
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	1,40	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,90
TiO ₂	58,80	51,30	51,20	50,70	51,20	52,10	52,80	53,50	52,90	52,90	50,70	50,40	51,10	53,20	52,20	50,20	50,60	51,00	53,90
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00
FeO	39,70	44,40	43,90	45,20	44,70	43,40	42,20	42,50	42,90	40,20	40,30	46,50	42,10	41,90	42,00	42,80	44,60	44,20	43,80
MnO	1,30	4,30	4,80	4,10	4,10	4,50	4,20	4,00	3,50	3,30	7,40	3,10	5,50	4,40	5,50	4,40	4,50	4,20	1,30
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	0,20	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00
Total	99,80	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,10	99,70	99,50	100,00	99,80	99,90
Fórmula estrutural com base em dois cátions e três oxigênios																			
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,035	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,000	0,022
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000
Ti	1,080	0,981	0,981	0,973	0,980	0,992	0,996	1,011	0,999	0,985	0,961	0,969	0,976	1,003	0,994	0,951	0,971	0,977	1,008
Fe ²⁺	0,811	0,881	0,869	0,873	0,883	0,892	0,885	0,893	0,901	0,833	0,802	0,889	0,813	0,878	0,876	0,894	0,854	0,882	0,925
Fe ³⁺	0,000	0,055	0,057	0,079	0,059	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,091	0,071	0,000	0,013	0,007	0,085	0,055	0,000
Mn	0,027	0,093	0,104	0,089	0,088	0,097	0,089	0,085	0,074	0,069	0,158	0,067	0,118	0,093	0,118	0,094	0,097	0,091	0,027
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,005	0,000	0,035	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000
Total	1,917	2,010	2,010	2,014	2,010	2,004	1,989	1,989	2,001	1,980	2,007	2,016	2,014	1,997	2,001	2,002	2,016	2,019	1,983

VI.9.2. Magnetita

É um dos óxidos mais abundantes em rochas ígneas e metamórficas e representa a fase mais enriquecida em Fe do grupo do espinélio (Deer *et al.* 1992).

Representa o mineral com maior magnetismo e assim como a ilmenita é encontrado em quantidades consideráveis nas areias de praias.

Os dados químicos obtidos para a magnetita são apresentados na tabela 21 e no Anexo V, onde foram realizadas 85 análises estando presentes em todas as lâminas estudadas.

A fórmula geral da magnetita é:



Na distribuição dos elementos o Fe ocorreu nas suas duas valências (Fe^{3+} e Fe^{2+}), sendo observado também Ti^{4+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , Si^{4+} , K^+ que perfizeram o sítio hexagonal até três cátions.

Foram observados cristais anédricos a subédricos, sendo comumente associados a annita e ilmenita. Já na Fácies Fenito ocorreu intimamente correlacionada com a biotita, que por vezes coroava os cristais da magnetita.

Na Fácies Fenito foram observadas em cristais de magnetita a exsolução do tipo sanduiche de ilmenita (Fig 18), fornecendo assim pares de magnetita-ilmenita que foram utilizados no geotermobarometro de Spencer & Lindsey (1981), através do software ILMAT (Lepage 2003). Esses cálculos revelaram temperaturas de 439,44-466,66 °C e $f\text{O}_2$ de -29 indicando as condições de reequilíbrio a que o fenito foi submetido (Tab. 11).

A ocorrência de Mn (4,8-23,3%) em algumas análises sugerem oxidação a baixas temperaturas a que a magnetita foi submetida Gillot & Guendouzi (1986). Na Fácies Fenito pôde ser observado valores das moléculas de ulvospinel (Fe_2TiO_4) variando de 0,08 a 0,211 e cromita (FeCr_2O_4) variando de 0,211-0,246.

Tabela 21. Análises químicas pontuais de cristais de magnetita.

Lâmina	2098	2098	2173	2173	2195	2195	2200	2200	2202B	2202B
Fácies	Annita <i>Foid Sienito</i>						<i>Foid Sienito</i>		Fenito	
Análise	1	7	10	12	15	26	44	45	46	56
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	7,10	0,60
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,80
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	100,00	88,90	100,00	85,90	100,00	86,80	98,90	100,00	87,60	98,20
MnO	0,00	8,00	0,00	13,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	3,20	0,00	0,50	0,00	1,00	0,00	0,00	1,90	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	2,40	0,30
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,10	100,00	99,70	100,00	100,10	100,00	100,00	100,10	99,90
Fórmula estrutural com base em três cátions e quatro oxigênios										
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,185	0,016
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,034
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,968	2,000	1,586	1,934
Fe ²⁺	1,000	0,638	1,000	0,563	1,000	0,578	0,980	1,000	0,948	0,995
Mn	0,000	0,240	0,000	0,393	0,000	0,301	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,122	0,000	0,019	0,000	0,038	0,000	0,000	0,070	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,036	0,000	0,166	0,021
K	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Membros Finais										
Magnetita	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,984	1,000	0,793	0,967
Cromita	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ulvöspinel	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,185	0,016

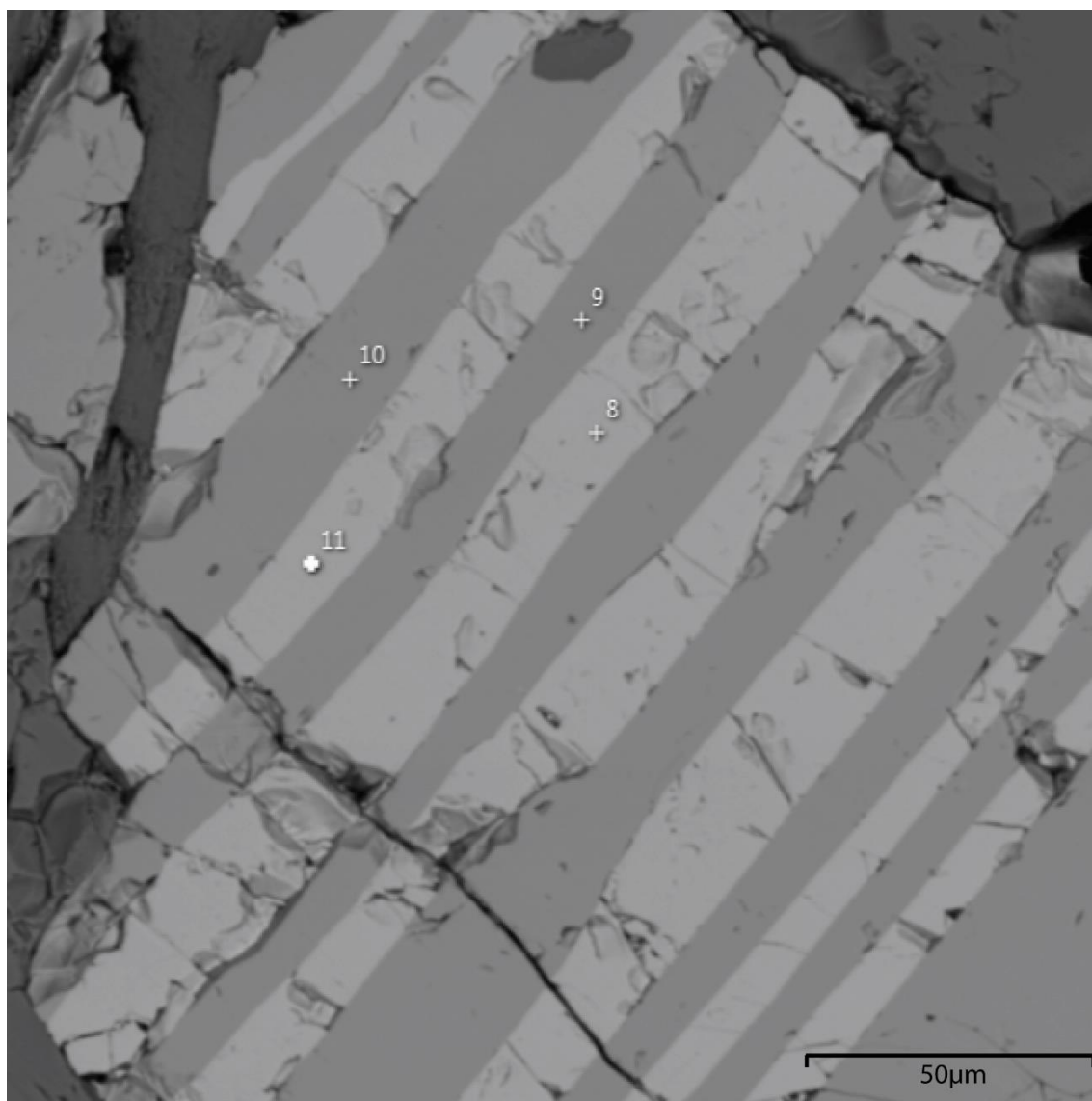


Figura 18. Imagem BSE com exsolução do tipo sanduíche de ilmenita (faixas escuras) em cristal de magnetita (faixas claras) onde foram realizadas as análises 8,9,10,11 na Fácies Fenito que foram utilizadas nos cálculos de temperatura e fO_2 .

Tabela 22. Tabela com os pares de magnetita-ilmenita utilizados para o cálculo geotermobarometro de Spencer & Lindsey (1981) na Fácies fenito.

Lâmina Óxidos	2202B		2202B		2202B	
	Sp25	Sp26	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11
TiO₂	1.5	52.1	1.4	53.3	53.1	1.7
Al₂O₃	0.8		1.0			0.6
FeO	97.7	43.4	97.5	41.9	42.3	97.4
MnO		4.5		4.9	4.7	
SiO₂						0.4
Total	100.0	100.0	99.9	100.1	100.1	100.1
Temp (°C)	466.66		465.14		439.44	
log₁₀ fO_2	-29.00		-29.03		-	

VI.9. SULFETOS

Ocorrem desde sedimentos recentes a terrenos com elevados graus metamórficos. Por sua vez, em rochas ígneas podem representar importantes depósitos de Cu, EGPs e Ni (Amelin *et al.* 1999; Ames & Farrow 2007) ou ocorrer como acessórios que são formados em fases tardias e hidrotermais (Korobeinikov *et al.* 1998).

VI.9.1. Pirita

É o sulfeto mais abundante da crosta terrestre e apresenta como característica marcante o seu habito cúbico. Muitos estudos em pirita examinam as suas variações físicas em ambientes metamórficos, bem como as texturas desenvolvidas (Craig *et al.* 1998).

As análises químicas para a pirita estão na tabela 23, sendo realizadas 12 análises, distribuídas em todas as fácies estudadas.

A fórmula ideal para a pirita é:



Na distribuição dos elementos a posição octaédrica em que ocorre o Fe^{2+} também apresentou conteúdos de Ca^{2+} , Na^+ e Ba^{2+} até um cátion e na posição ocupada pelo S^- foi observada a Si^{4+} que totalizaram 2 cátions.

Os cristais ocorrem desde formas anédricas a euédricas (Fig. 19) com tamanhos entre 10 μm a 30 μm , onde por vezes é associado com carbonato e está coroadado por magnetita.

O conteúdo de Fe se mostrou variável sendo possível observar dois grupos. Os cristais euédricos apresentando menores conteúdos de Fe (31-31,9%) e os anédricos com maiores concentrações de Fe (32,1 - 59,4%). No fenito ocorreu o predomínio do Ca (0,3 - 2%) na composição da pirita, já nos *foïd* sienitos predominou o Na (0,9 - 1,3%).

Tabela 23. Análises químicas pontuais de cristais de pirita.

Lâmina	2195	2195	2195	2195	2200	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B
Fácies	Annita Foid Sienito					Fenito							
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Fe	31,90	31,70	31,50	31,10	31,10	31,00	32,30	31,90	33,90	31,10	33,40	32,10	
S	66,50	66,20	66,60	67,20	67,20	69,00	66,50	68,10	64,80	68,90	66,60	67,90	
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	
Na	1,00	1,30	1,10	0,90	0,90	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	
Si	0,60	0,80	0,80	0,90	0,90	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total	100,00	100,00	100,00	100,10	100,10	100,00	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00	
Fórmula estrutural com base em três cátions													
Fe	1,024	1,016	1,011	0,998	0,998	1,001	1,041	1,029	1,088	1,004	1,075	1,035	
S	1,916	1,905	1,918	1,934	1,934	1,999	1,924	1,971	1,866	1,996	1,925	1,965	
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	
Na	0,037	0,048	0,041	0,033	0,033	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,000	
Si	0,023	0,031	0,031	0,035	0,035	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	

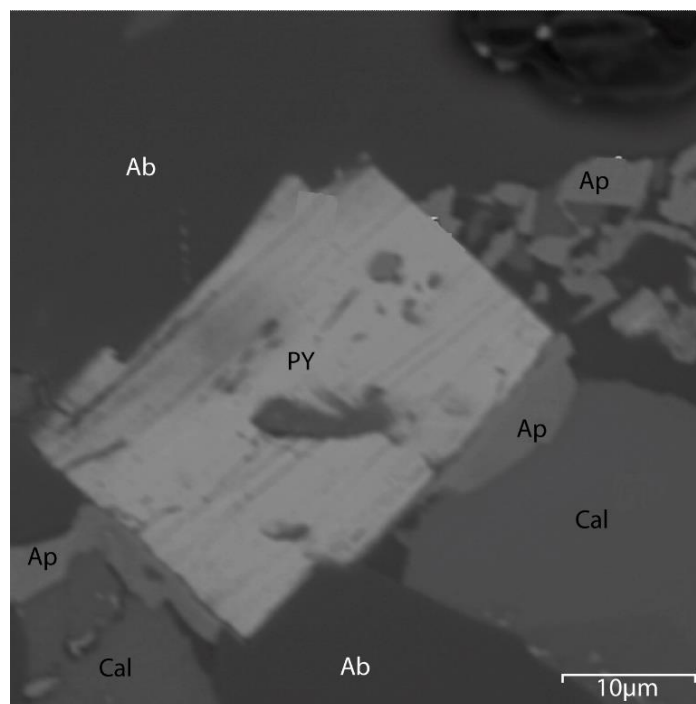


Figura 19. Imagem BSE da amostra 2195 (Fácies Annita *Foid* Sienito) obtida a partir do detector BSE ilustrando a ocorrência de pirita euédrica em associação com albíta (Ab), apatita (Ap) e calcita (Cal).

VI.9.2. Esfarelita

Representa o minério mais importante de zinco, sendo um mineral extremamente comum e que ocorre associado com a galena (Dana 1978).

Os dados com as composições químicas para a esfarelita estão na tabela 24, onde foram realizadas 12 análises, distribuídas nas fácies Annita *Foid* Sienito e Fenito.

A fórmula ideal para a esfarelita é:



A posição tetragonal onde ocorre o Zn^{2+} foi preenchida também por Fe^{2+} até um cátion e o sítio ocupado pelo S^{2-} , também tetragonal, foi complementado por Si^{4+} até um cátion.

Ocorre de forma anédrica a subédrica (Fig. 20) com tamanhos entre 5 µm a 35 µm e assim como a pirita também ocorre associada ao carbonato.

[illegible]

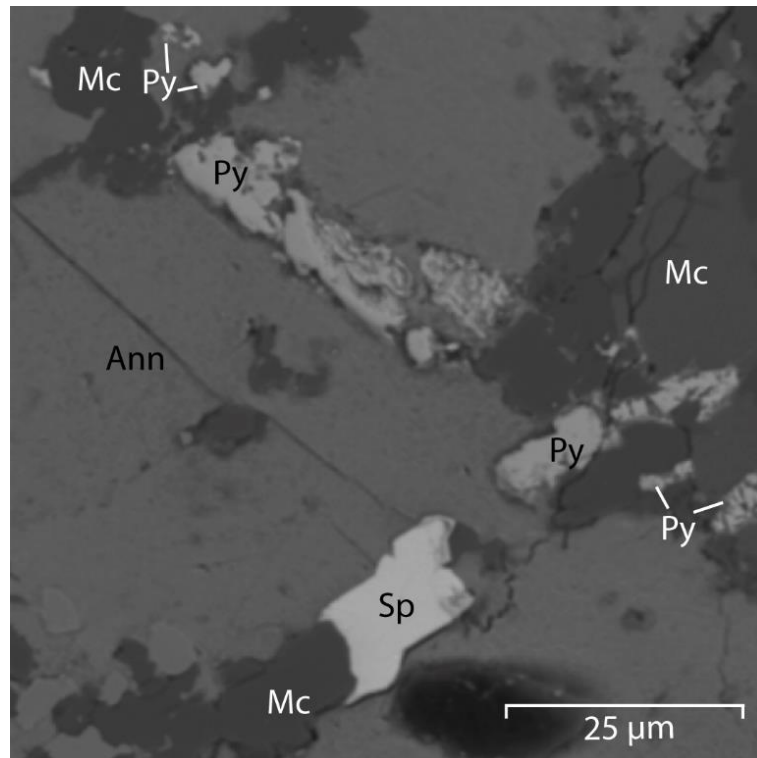


Figura 20. Imagem BSE da amostra 2098 obtida a partir do detector BSE ilustrando a ocorrência de esfarelita (Sp) subédrica e pirita anédrica (Py) em contato com microclínio e annita.

As formas da esfarelita não tão bem desenvolvidas, sugerindo que a pirita foi formada antes com um tempo maior para o seu desenvolvimento. Os conteúdos de Fe (0,9 - 6,6%) ocorreram de forma constante nas análises e o de Si (0,3 - 0,4%) de forma esporádica.

Observando a forma euédrica, a ocorrência em fraturas e a associação por vezes com o carbonato, a origem dos sulfetos é relacionada ao estágio final de cristalização.

VI.10. ANCILITA

Durante as descrições petrográficas foram observadas regiões nos cristais de calcita, dispostos no centro e nas bordas com variações na cor de interferência e relevo, que ao serem analisados com o EDS revelaram-se tratar de ancilita (Fig. 21).

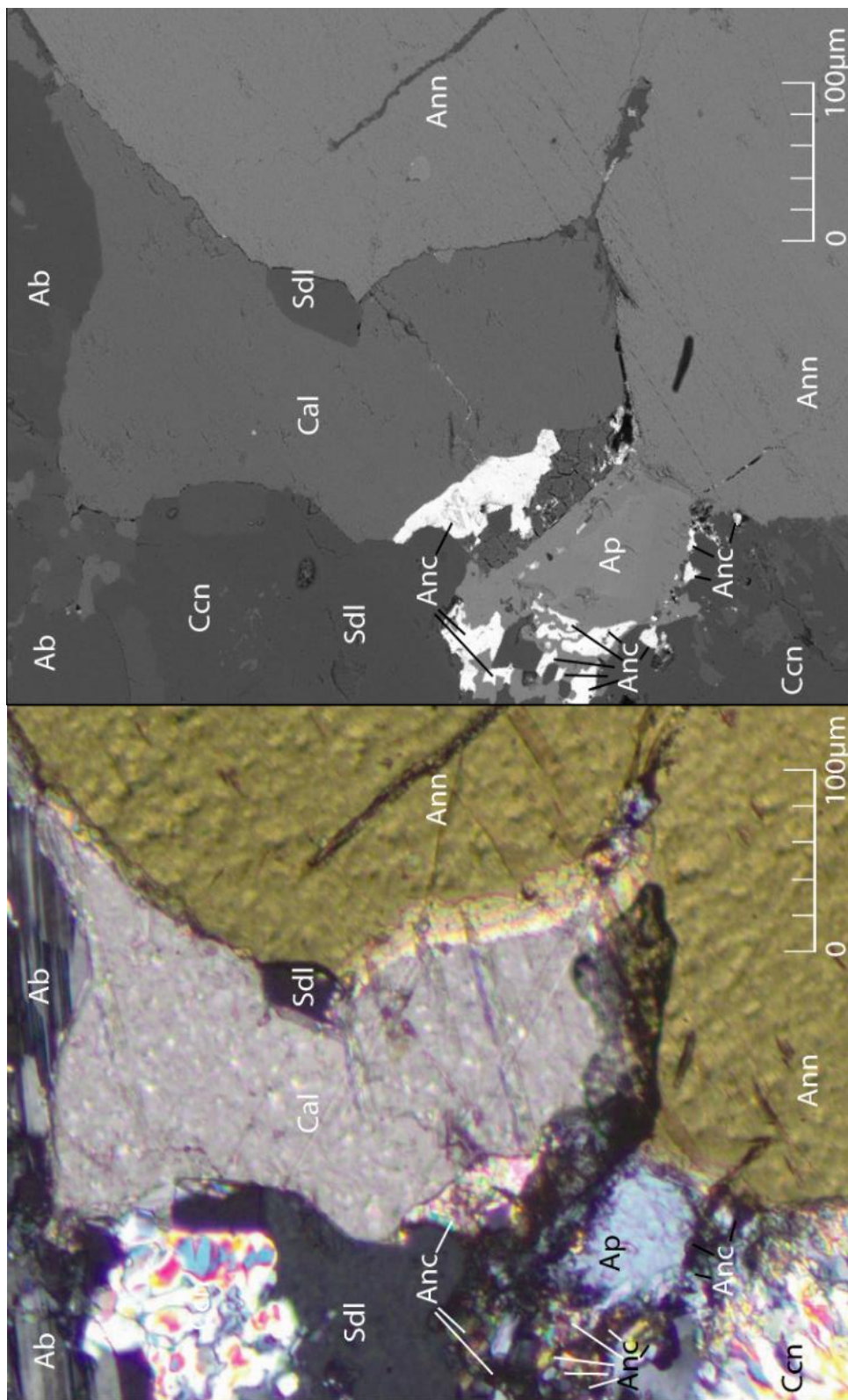


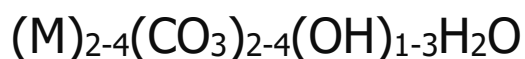
Figura 21. Imagens obtidas em mesma região de lâmina delgado-polida 2200, em microscopia petrográfica em luz transmitida polarizada na esquerda e no detector BSE à direita apresentando a textura do *feld's* sienito do Complexo Alcalino Floresta Azul. Cristais de: ancilíta (Anc), annita (Ann), calcita (Cal), apatita (Ap), cancriníta (Ccn), sodalíta (Sdl), albíta (Ab). O maior cristal de ancilíta anédrico nessa imagem ocorre na periferia do cristal de calcita. Os cristais menores ocorrem de forma irregular em torno do cristal de apatita, exibindo contatos ameboidais.

A ancilita é um raro carbonato hidratado de Sr e ETR leves sendo comumente associado a carbonatitos (Burtseva *et al.* 2013), kimberlitos (Oleynikov & Suknev 1999) e nefelina sienitos (Chakhmouradian & Mitchel 2002). Ocorrem quatro tipos de ancilita na natureza sendo classificadas de acordo com os conteúdos de Sr, Ca e ETR leves (Ce, La e Nd), sendo elas: ancilita-Ce, ancilita-La, calcioancilita-Ce, calcioancilita-Nd.

No Brasil a primeira ocorrência de ancilita foi descrita em 1978 na região de Coromandel, Minas Gerais (Pomerancblum 1978), sendo encontrada ao acaso durante a análise de minerais satélites de diamante para a caracterização de kimberlitos. Posteriormente, vários estudos utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura, identificaram a presença deste carbonato em rochas ígneas brasileiras (Pereira *et al.* 2005; Manfredi 2013).

As análises químicas para ancilita são exibidas na tabela 25, sendo realizadas 12 análises na Fácies *Foid* Sienito. A fórmula estrutural foi calculada com base em dois cátions seguindo os procedimentos realizados por Reguir (2001).

A fórmula geral para a ancilita baseada na proposta de Dal Negro (1975) é:



M= Ca²⁺, Sr²⁺, ETR³⁺

Os elementos foram distribuídos inicialmente no sítio M, com coordenação octaédrica, são o Ca²⁺ e Sr²⁺ seguidos dos ETR³⁺ (principalmente Ce³⁺, La³⁺, Nd³⁺ e Pr³⁺). Para as ancilitas de Ce e La a posição M é preenchida até dois cátions e esses cristais são do sistema cristalino ortorrômbico, já para as calcioancilitas de Ce e Nd o sítio é preenchido até quatro cátions, sendo os cristais monoclinicos.

Tabela 25. Análises químicas pontuais em cristais de ancilita

Amostra	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Fácies	Foid Sienito											
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SrO	17,74	18,92	17,86	19,04	17,50	19,63	17,86	20,22	12,18	12,18	10,41	6,62
Ce₂O₃	24,95	26,12	25,18	25,53	27,17	24,48	24,83	24,36	3,51	3,28	5,62	33,38
La₂O₃	19,70	19,70	22,17	19,82	20,76	17,24	22,28	19,35	45,04	44,21	43,51	24,28
CaO	3,50	2,80	2,80	2,52	2,66	2,94	3,78	3,64	4,06	5,18	4,62	4,20
Nd₂O₃	3,73	3,73	3,62	4,20	5,02	6,30	3,62	4,32	7,00	6,65	7,81	4,08
Pr₂O₃	0,00	2,69	2,22	2,34	2,22	2,93	0,00	2,22	2,81	2,93	4,10	3,28
CO₂*	22,85	23,49	23,04	23,19	23,04	23,80	23,64	24,77	22,03	23,00	22,09	20,19
Total	92,47	97,45	96,89	96,64	98,38	97,31	96,01	98,89	96,63	97,42	98,16	96,03
Fórmula estrutural com base em dois cátions												
Sr	0,649	0,664	0,632	0,675	0,612	0,687	0,629	0,690	0,432	0,422	0,363	0,239
Ce	0,576	0,579	0,562	0,572	0,600	0,541	0,552	0,525	0,079	0,072	0,124	0,761
La	0,455	0,436	0,495	0,444	0,459	0,381	0,495	0,417	1,008	0,968	0,958	0,554
Ca	0,236	0,181	0,183	0,165	0,172	0,190	0,246	0,229	0,266	0,332	0,298	0,280
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,084	0,081	0,079	0,092	0,108	0,136	0,078	0,091	0,153	0,142	0,168	0,091
Pr	0,000	0,059	0,049	0,052	0,049	0,064	0,000	0,048	0,063	0,064	0,090	0,074
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

As ancililas apresentam tamanhos que variam entre 1 μm e 20 μm sendo anédricas e disseminadas entre os cristais de calcita (Fig. 22) ou coroadas cristais de monazita e apatita (Fig. 23). Ocorrem igualmente em microfraturas e em planos de clivagens de cristais de annita. As relações texturais dos cristais de ancilila na periferia dos cristais de calcita ou em clivagens e fraturas de cristais de annita, indicam que a ancilila cristalizou-se posteriormente a formação da annita e calcita.

Observa-se que esses cristais apresentam variações nos conteúdos dos óxidos de SrO (6,6-20,2%), Ce_2O_3 (3,3-27,2%), La_2O_3 (17,2-45%), CaO (2,5-5,2%), Nd_2O_3 (3,6-7,8%), Pr_2O_3 (<0,1-4,1%). O somatório dos Elementos Terras Raras situa-se entre 48,4%-65%, havendo a dominância do cério e lantânio. Os conteúdos de cálcio, cério e lantânio fazem com que esses minerais sejam denominados de ancilila-Ce, ancilila-La. Comparou-se os resultados obtidos com os disponíveis na literatura (Mitchell 1995; Pekov *et al.* 1997; Zaitsev *et al.* 1998; Reguir & Mitchell 2000). Todavia, foi somente possível fazer a comparação para as ancilila-Ce. Dessa comparação constatou-se que as ancilila-Ce do CAFA são similares aquelas descritas em carbonatitos (e.g. Khibina, Zaitsev *et al.* (1998); Naissârssuk, Pekov *et al.* (1997)) (Fig. 24). As ancililas-La na figura 24 posicionam-se diferente da ancilila-Ce nesse mesmo diagrama devido ao seu alto conteúdo em lantânio.

Embora tenham sido observadas várias formas de ocorrência, não foram observadas mudanças composicionais significativas relacionadas ao tipo de associação, sendo observadas apenas variações referentes aos tipos distintos de ancilila encontrados.

A formação de carbonatos ricos em estrôncio e Elementos Terras Raras, como o caso da ancilila, têm sido interpretados como resultantes da interação de fluidos hidrotermais com a mineralogia magmática em *foi*d sienitos, resultando na recristalização da calcita formando minerais como estroncianita e ancilila (Butseva *et al.* 2013).

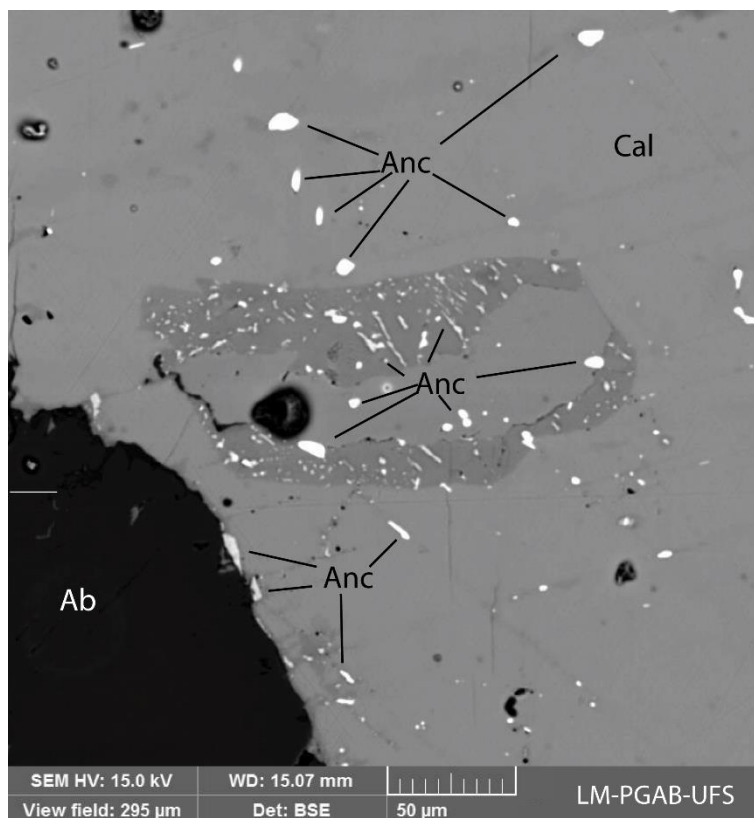


Figura 22. Imagem BSE da lâmina 2200, em campo com cristal de calcita e albita. Observa-se que a ancilita (Anc) apresenta-se disseminada em cristal de calcita (Cal) em contato com albita (Ab).

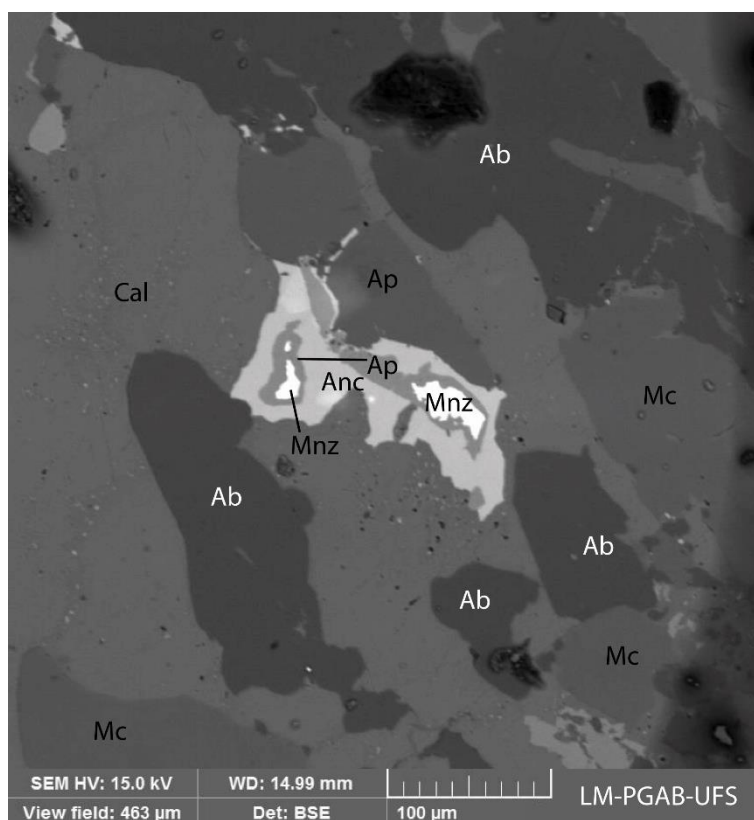


Figura 23. Imagem BSE de campo da lâmina 2200 onde é observada a ocorrência de ancilita (Anc) em associação com apatita (Ap) e monazita (Mnz). Também são observados cristais de calcita (Cal), albita (Ab) e microclínio (Mc).

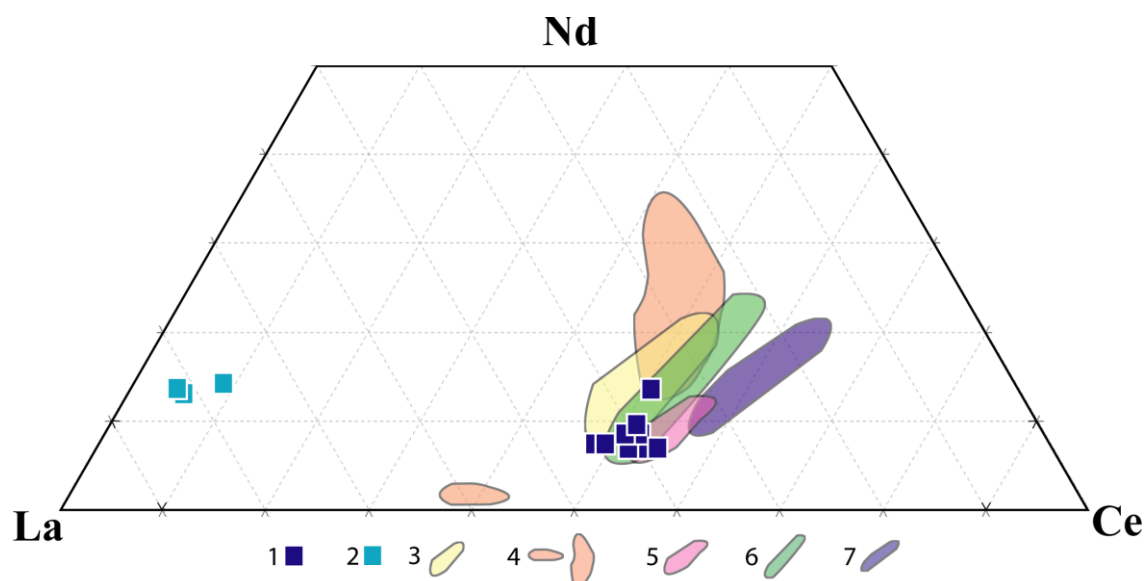


Figura 24. Diagrama Nd-La-Ce aplicado aos cristais de ancilita estudados: ancilita-Ce [1]; ancilita-La [2]. Composições de cristais de ancilita-Ce de outros corpos ígneos da literatura: Murun, Rússia (Reguir 2001) [3]; Bearpaw Mountains, USA (Reguir & Mitchell 2000) [4]; Khibina, Russia (Zaitsev *et al.* 1998) [5]; Naissârssuk, Rússia (Pekov *et al.* 1997) [6]; Benfontein, África do Sul (Mitchell 1995) [7].

VI.10.1. Mineral Semelhante a Ancilita

Durante as análises observou-se a ocorrência de um mineral parecido com a ancilita, por apresentar composição semelhante e as mesmas formas de ocorrência nas rochas (Fig. 25).

O alto conteúdo de Na (Tab. 26) presentes nesses cristais não é descrito nas variedades de ancilita presentes na literatura. O valor do CO_2 calculado, com o mesmo procedimento da ancilita, atinge valores muito elevados. Estes dados levam a interpretar que possa ser um novo mineral com composição próxima da ancilita mais rico em Na. Ele foi observado em todas as lâminas estudadas sendo um dos minerais acessórios diminutos mais analisado no MEV e mais abundante, até mesmo que a ancilita. Em comparação a ancilita além de apresentar o Na, possui igualmente maiores conteúdos de SrO (14,78 - 33,94%), CaO (4,76 - 16,51%) e menores conteúdos de ETR como o Ce_2O_3 (8,08 - 20,03%) e o La_2O_3 (4,1 - 14,07%).

Tabela 26. Análises químicas pontuais do mineral semelhante a ancilita

Lâmina	2098	2098	2098	2173	2195	2195	2195	2195	2195	2200	2200	2200
Fácies	Annita Foid Sienito									Foid Sienito		
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SrO	33,94	14,78	15,37	23,65	27,79	32,40	24,95	29,45	25,43	20,10	19,99	19,39
Ce₂O₃	12,77	20,03	17,69	17,80	15,34	8,08	10,78	12,88	14,29	17,80	17,69	19,91
La₂O₃	9,15	11,26	10,44	13,25	10,09	4,10	9,38	7,15	11,14	13,84	14,07	14,66
CaO	4,76	16,51	15,81	8,95	10,63	9,65	8,81	8,54	8,12	14,41	13,01	11,75
Na₂O	8,36	4,58	9,17	4,99	9,57	12,54	13,88	10,24	9,71	3,24	4,04	4,18
Nd₂O₃	3,27	4,78	4,78	3,38	3,27	2,92	1,63	3,50	2,45	2,92	2,80	2,80
Pr₂O₃	0,00	2,34	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	1,64	0,00	0,00	0,00
Total	72,24	74,29	75,25	72,03	76,69	69,70	69,44	73,17	72,77	72,31	71,60	72,70

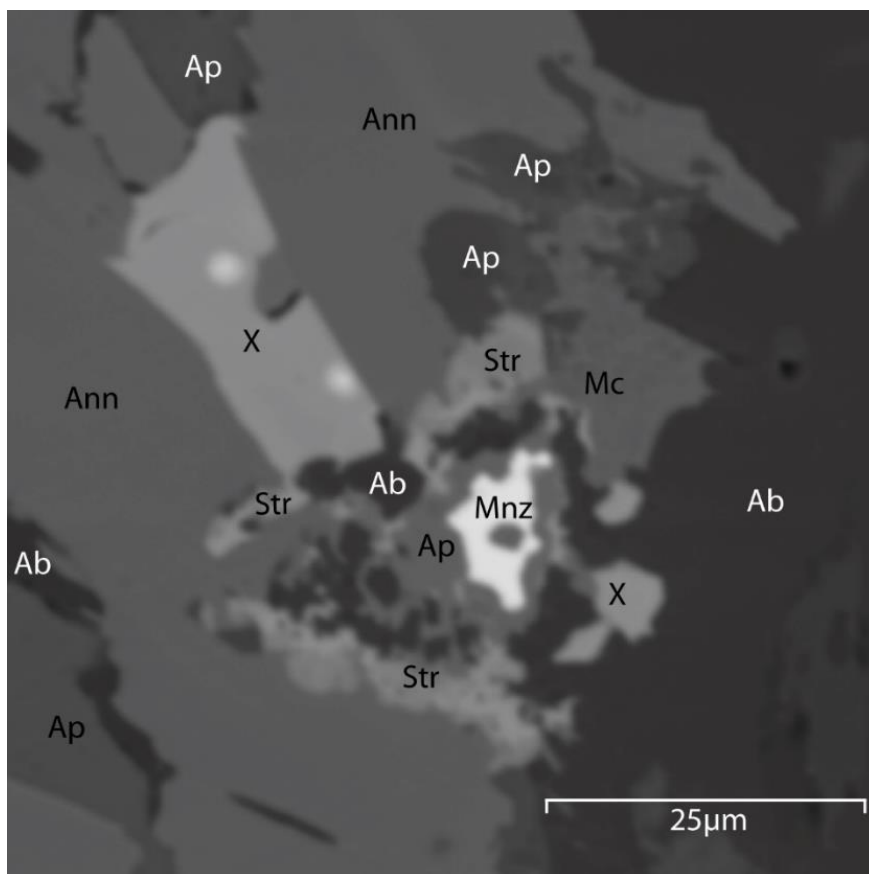


Figura 25. Imagem BSE de campo da lâmina 2195 (Fácies Annita Foid Sienito) onde pode ser observada a ocorrência do mineral similar a ancilita (X), ocorrendo com a associação de apatita (Ap), e monazita (Mnz), ocorrendo entre um cristal de annita (Ann), estroncianita (Str) e albita (Ab). As duas manchas brancas no mineral X correspondem aos lugares analisados, pois esses minerais, como a ancilita não resistem ao feixe de elétrons.

VI.11. PIROCLORO

Representa um grupo de minerais da classe dos óxidos de grande valor econômico que contém altas concentrações de Nb e Ta, sendo presente em muitos complexos carbonatíticos (Mitchell 2014) que são a fonte primária desses elementos. Ocorrem também como minerais acessórios em pegmatitos graníticos (Andrade 2007) e *foid* sienitos (Maravic & Morteani 1980).

A composição dos minerais do grupo do pirocloro é extremamente variável, apresentando grande quantidade de cátions que podem ocupar a sua estrutura.

O primeiro registro do grupo se deu através de Wohler no ano de 1826 (Hogarth 1977) que descreveu pirocloro em Fredriksvarn, na Noruega. Na PASEBA a primeira ocorrência foi identificada nos sodalita sienitos e sodalititos de Itajú do Colônia (Pimenta *et al.* 2015).

Em um primeiro momento os cristais de pirocloro não foram identificados através da microscopia ótica devido aos tamanhos diminutos variando de 1µm a 80µm, sendo observado oticamente somente após a sua identificação no MEV, onde foram observados cristais subédricos a euédricos com coloração marrom, estando associados a annita, ocorrendo em fraturas e em contato com baddeleyíta (Fig. 26).

As análises químicas de pirocloro estão na tabela 27, sendo realizadas 15 análises nas fácies sub-saturadas nas lâminas 2195 e 2200. A fórmula estrutural foi calculada com base na posição B=2, como observado em Andrade (2007).

A fórmula geral para o grupo do pirocloro é:



Y= H₂O, OH⁻, F⁻, K⁺, Cs⁺ e Rb⁺

X= O²⁻, OH⁻ e F⁻

B= Ta⁵⁺, Nb⁵⁺, Ti⁴⁺, Sb⁵⁺, W⁵⁺, V⁵⁺, Sn⁴⁺, Zr⁴⁺, Hf⁴⁺, Fe³⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e Si⁴⁺

A= Na⁺, Ca²⁺, Mn²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺, Fe²⁺, Pb²⁺, Sn²⁺, Sb³⁺, Bi³⁺, Y³⁺, Etr³⁺, Sc³⁺, U³⁺ Th⁴⁺ e H₂O

Os elementos foram distribuídos inicialmente na posição Y com a ocorrência do F⁻, já no sítio X foi distribuído o O²⁻. Na posição B, de coordenação tetraédrica, foram alocados Ta⁵⁺, Nb⁵⁺, Ti⁴⁺, Zr⁴⁺, Fe³⁺, Al³⁺ e Si⁴⁺ até dois cátions. O sítio A octaédrico foi preenchido por Na⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Ce³⁺, La³⁺, U³⁺ e Th⁴⁺ até próximo de dois cátions. Os parâmetros m, w e n na fórmula correspondem a valores que vão indicar a ocorrência de vacância nos sítios A, X e Y respectivamente.

Os cristais apresentaram variações nos conteúdos dos óxidos (Tab. 27) de Nb₂O₅ (46,5-68,7%), Ta₂O₅ (0-10%), SiO₂ (0-2,1%), TiO₂ (1,6-8%), UO₂ (0-16,5), Ce₂O₃ (0-5,5), CaO (0-11,3%), Na₂O (0-10,1%), Al₂O₃ (0-0,9%), FeO (0-4,9%), La₂O₃ (0-2,7%), SrO (0-1,9%), Nd₂O₃ (0-2,1%), F (0-7,1), ZrO₂ (0-9,1%), ThO₂ (0-5,2%).

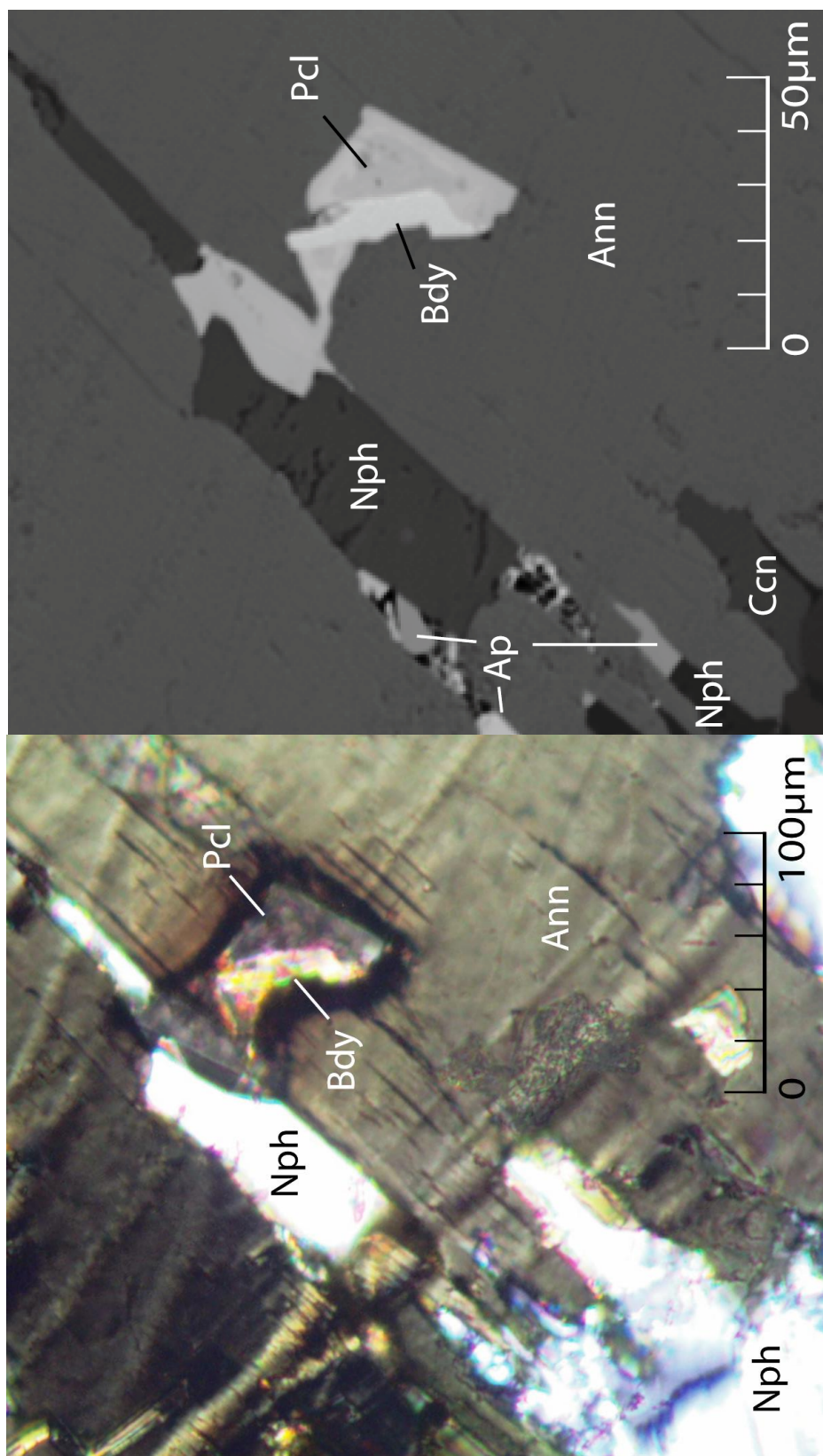


Figura 26. Imagens obtidas em mesma região da lâmina delgado-polida 2200, em microscopia ótica em luz transmitida polarizada (esquerda) e em microscopia eletrônica de varredura por BSE (direita). E ilustrado a ocorrência de um cristal de pirocloro na porção central, estando incluído em um cristal de annita e em associação com baddeleyita.

Tabela 27. Análises químicas pontuais de cristais de pirocloro.

Lâmina	2195	2195	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Fácies	A.F.Sienito		Foid Sienito										
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	14	15
Nb₂O₅	46,50	62,10	66,30	65,20	67,00	65,40	68,10	68,70	65,70	60,50	65,30	62,30	66,60
Ta₂O₅	10,00	0,00	2,00	3,30	0,00	2,10	0,00	0,00	2,40	8,60	0,00	5,60	0,00
SiO₂	0,00	0,00	0,90	0,00	2,00	1,20	1,10	0,00	0,00	0,00	1,00	2,10	1,40
TiO₂	8,00	5,00	1,70	2,00	2,00	1,60	2,10	2,00	2,70	2,90	2,80	3,80	1,60
UO₂	8,80	16,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce₂O₃	5,50	1,50	0,00	1,40	0,00	1,80	3,40	3,70	4,40	3,60	3,60	4,00	3,50
CaO	5,30	0,00	11,20	11,20	11,30	11,30	10,30	10,10	9,40	9,20	10,00	7,50	9,90
Na₂O	5,40	0,00	9,20	9,30	9,30	8,90	9,40	9,20	8,80	7,90	9,00	9,50	10,10
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90
FeO	0,00	4,90	1,50	1,70	1,30	1,60	0,00	0,80	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00
La₂O₃	2,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00
Nd₂O₃	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	0,00	2,00	1,80	0,00
F	1,50	0,00	7,10	5,90	7,10	6,10	5,60	5,40	4,40	5,00	5,20	3,40	5,90
ZrO₂	0,00	9,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ThO₂	5,20	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,90	99,80	100,00	100,00	99,90
O=F	0,63	0,00	2,99	2,48	2,99	2,57	2,36	2,27	1,85	2,11	2,19	1,43	2,48
Total	99,37	100,00	97,01	97,52	97,01	97,43	97,64	97,73	98,15	97,89	97,81	98,57	97,52
Fórmula estrutural com base em dois cátions													
Na	0,520	0,000	1,051	1,083	1,034	1,019	1,089	1,074	1,054	0,944	1,070	1,063	1,160
Ca	0,282	0,000	0,707	0,721	0,694	0,715	0,659	0,651	0,622	0,607	0,657	0,464	0,628
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000	0,000
La	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000
Ce	0,100	0,031	0,000	0,031	0,000	0,039	0,074	0,082	0,099	0,081	0,081	0,085	0,076
Nd	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,046	0,000	0,044	0,037	0,000
U	0,097	0,204	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,059	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΣA	1,068	0,235	1,758	1,835	1,728	1,772	1,823	1,806	1,821	1,682	1,876	1,649	1,864
Si	0,000	0,000	0,053	0,000	0,115	0,071	0,066	0,000	0,000	0,000	0,061	0,121	0,083
Ti	0,299	0,209	0,075	0,090	0,086	0,071	0,094	0,091	0,125	0,134	0,129	0,165	0,071
Fe	0,000	0,228	0,074	0,085	0,062	0,079	0,000	0,040	0,000	0,036	0,000	0,000	0,000
Nb	1,566	1,563	1,766	1,770	1,737	1,745	1,840	1,869	1,834	1,685	1,810	1,626	1,783
Ta	0,135	0,000	0,032	0,054	0,000	0,034	0,000	0,000	0,040	0,144	0,000	0,088	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,063
Zr	0,000	0,247	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ΣB	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Total	3,127	2,493	3,811	3,835	3,843	3,843	3,889	3,806	3,821	3,682	3,937	3,770	3,947

A nomenclatura do grupo do pirocloro não segue as regras gerais estabelecidas pela IMA, sendo ainda motivo de controvérsia. Seguindo o modelo clássico proposto por Hogarth (1977), foram definidos três subgrupos a partir do grupo do pirocloro com base nos cátions predominantes no sítio B, sendo eles: microlita ($Nb+Ta > 2Ti$, $Ta \geq Nb$), pirocloro ($Nb+Ta > 2Ti$, $Nb > Ta$) e betafita ($2Ti \geq Nb+Ta$). Já a posição A determina o prefixo para o nome raiz proposto pelo sítio B, considerando quando um ou mais cátions ocuparem 20% da posição A (não sendo considerado os valores de Ca e Na) será aplicado o nome do cátion mais abundante, sendo alguns desses prefixos “plumbo”, “urano”, “bário”, “natro”, “hidro” e “□” (vacância).

Utilizando o diagrama “Ti-Nb-Ta” (Fig. 27) para classificação dos minerais do supergrupo do pirocloro foi observado que os cristais correspondem exclusivamente a pirocloro. Sendo apenas três amostras nomeadas como □ - pirocloro, já que nas demais amostras predominam o Ca e Na no sítio A.

O estágio de cristalização do pirocloro foi analisado com base no diagrama “Vacância-Ca-Na” (Fig. 28), onde foram posicionados nas porções referentes a cristalização primária e hidrotermal. Somente nos cristais com uma maior tendência hidrotermal foi possível observar conteúdos de U, Zr e Th.

A disposição nas fraturas e as inclusões de baddeleyíta reforçam ocorrência do pirocloro formado nas etapas finais de cristalização, possivelmente associados aos fluidos salinos e ricos em CO₂ que promoveram a formação da cancrinita e sodalita. Já o pirocloro tido como primário apresenta uma forma mais euédrica e estando incluso em microclínio.

VI.12. MONAZITA

Representa o mineral mais comum de ETR, ocorrendo como acessório em diversos tipos de rochas com composição e morfologia amplamente variadas (Deer *et al.* 1992). Apresenta boa resistência ao intemperismo sendo comumente observada em acumulações provenientes de fluxos de detritos e arenitos.

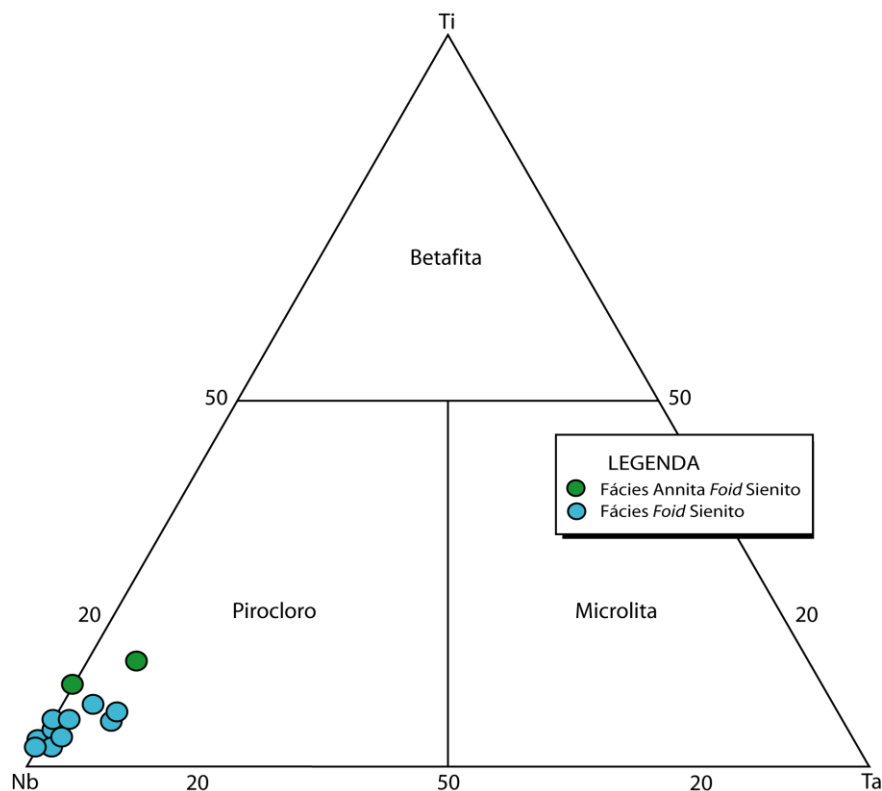


Figura 27. Diagrama ternário catiônico Ti-Nb-Ta utilizado para a classificação dos minerais do Supergrupo do Pirocloro (Hogarth 1977). São determinados 3 subgrupos com base nos cátions predominantes no sítio B, sendo eles: betafita $[(Ca,U)_2(Ti,Nb,Ta)_2O_6(OH)]$, pirocloro $[(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)]$ e microlita $[(Na,Ca)_2Ta_2O_6(O,OH,F)]$.

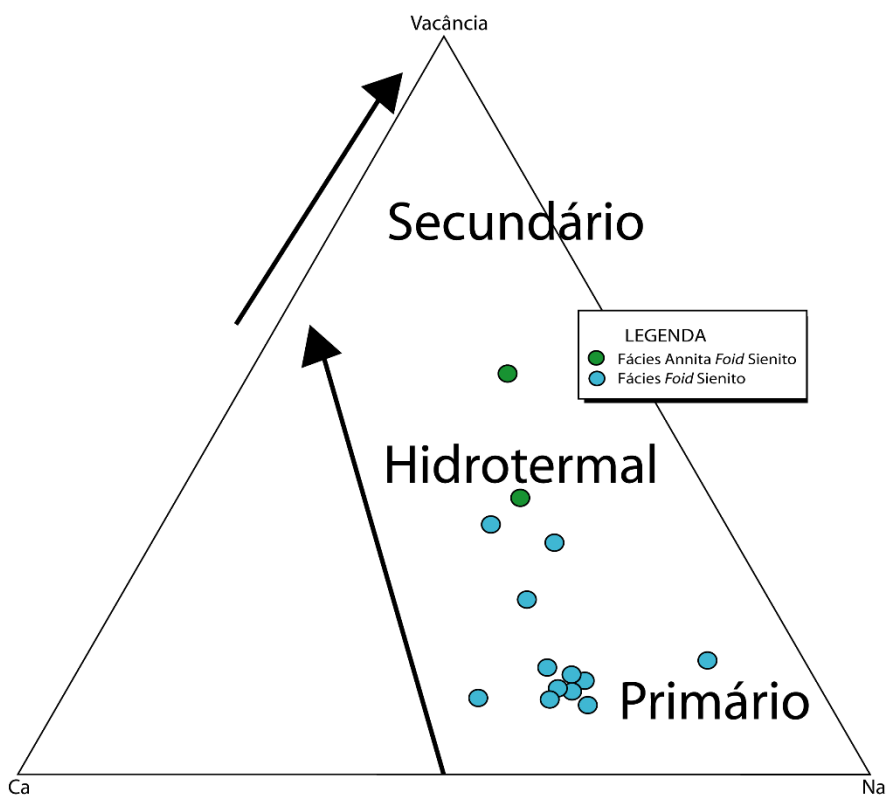


Figura 28. Diagrama catiônico Vacância-Ca-Na (Nasraoui & Bilal 2000) utilizado para classificação da cristalização do pirocloro.

Junto com a bastnasita representam os minerais de minério dos principais depósitos de ETR (Toledo *et al.* 2004). A estrutura da monazita incorpora preferencialmente os ETR leves, sendo o xenotímio o mineral em cuja estrutura estão alojados os ETR pesados (Ni *et al.* 1995). A monazita também é considerada um dos minerais mais importantes para o estudo de processos crustais, junto com o zircão é bastante utilizada para geocronologia, como um indicador de temperaturas magmáticas (Harrison *et al.* 1995) a eventos metamórficos (Zeh *et al.* 2003) e relações petrogenéticas (Rapp & Watson 1986; Montel 1993). As análises químicas para a monazita estão na tabela 28 e no Anexo VI, sendo realizadas 53 análises distribuídas em todas as fácies estudadas.

A fórmula ideal da monazita é:



Na distribuição dos elementos, a posição tetraédrica ocupada preferencialmente por P^{3+} foi complementada por Si^{4+} e Al^{3+} até perfazer um cátion por fórmula unitária. Já na posição tetraédrica ocupada preferencialmente pelos ETR (La^{3+} , Ce^{3+} , Nd^{3+} , Pr^{3+}) foi complementada por Ca^{2+} , Sr^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} , U^{4+} e Th^{4+} até um cátion.

Foram observados cristais anédricos com tamanhos em torno de 1µm a 35µm. Comumente ocorrem em associação com apatita e ancilita (Fig. 15, 23, 29). O somatório dos ETR variou de 62,4 a 71,3%, sendo Ce (30 - 36,1%) e o La (22,3 - 33,8%) os que predominaram. O Th que comumente ocorre na monazita foi observado de forma esporádica com valores entre 1,2-3,6%.

No diagrama La/Nd *versus* (La+Ce+Pr)% (Fig. 30) é possível observar um grande enriquecimento em La, onde apenas os campos relacionados a hidrotermalismo e a carbonatito fazem contato com as monazitas do CAFA. Em relação ao somatório total de ETR o registro em granitos apresenta maiores concentrações e de uma forma geral o Ce é o ETR predominante, sendo que apenas nas amostras estudadas o Ce e o La ocorrem com valores próximos.

Tabela 28. Análises químicas pontuais de cristais de monazita.

Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2200	2200	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B
Fácies	Annita Foïd Sienito										Foïd Sienito		Fenito					
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
La ₂ O ₃	32,00	31,90	32,90	32,70	32,30	31,80	31,80	32,30	27,60	29,90	33,80	27,60	27,00	26,50	23,50	22,30	26,90	23,50
Ce ₂ O ₃	32,40	31,40	31,60	32,40	31,60	30,20	30,00	30,40	32,70	33,60	30,60	33,30	34,70	31,70	30,20	32,90	32,20	30,20
P ₂ O ₅	29,40	29,80	29,90	29,40	30,30	29,00	29,80	28,80	30,40	31,40	30,50	30,10	30,00	30,00	30,20	30,40	32,40	33,30
Nd ₂ O ₃	3,80	4,20	3,90	3,30	3,70	4,30	3,60	3,60	5,00	4,60	3,70	4,60	5,40	5,40	6,80	9,40	5,40	5,90
Pr ₂ O ₃	2,00	2,60	1,20	2,30	2,20	2,20	2,10	2,10	2,60	0,00	0,00	2,60	2,90	2,70	3,10	3,30	0,00	2,80
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	0,50	0,00	0,90	0,00	1,70	4,60	0,00	2,10	3,70
SiO ₂	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,80	0,70	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,70	0,60	0,60	0,90	0,70
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	1,90	2,10	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,60	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,20	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	99,90	100,10	100,10	100,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00	100,10	100,00	98,90	99,90	100,10
Fórmula estrutural com base em dois e quatro oxigênios																		
La	0,465	0,463	0,472	0,477	0,465	0,464	0,457	0,472	0,393	0,422	0,486	0,392	0,391	0,376	0,329	0,320	0,367	0,315
Ce	0,467	0,452	0,450	0,469	0,451	0,437	0,428	0,441	0,463	0,471	0,437	0,470	0,498	0,447	0,419	0,469	0,436	0,402
P	0,981	0,993	0,985	0,984	1,001	0,971	0,983	0,966	0,995	1,018	1,006	0,982	0,996	0,978	0,970	1,002	1,015	1,024
Nd	0,053	0,059	0,054	0,047	0,052	0,061	0,050	0,051	0,069	0,063	0,052	0,063	0,076	0,074	0,092	0,131	0,071	0,077
Pr	0,029	0,037	0,017	0,033	0,031	0,032	0,030	0,030	0,037	0,000	0,000	0,037	0,041	0,038	0,043	0,047	0,000	0,037
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,021	0,000	0,037	0,000	0,070	0,187	0,000	0,083	0,144
Si	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,024	0,031	0,028	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,027	0,023	0,023	0,033	0,025
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,017	0,019	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Gd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,003	0,000	0,000	0,000
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,008	0,000	0,000	0,000
Dy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000	0,000
Total	2,022	2,005	2,002	2,010	2,000	2,006	1,995	2,007	2,027	1,995	1,992	2,019	2,002	2,029	2,075	1,991	2,007	2,024

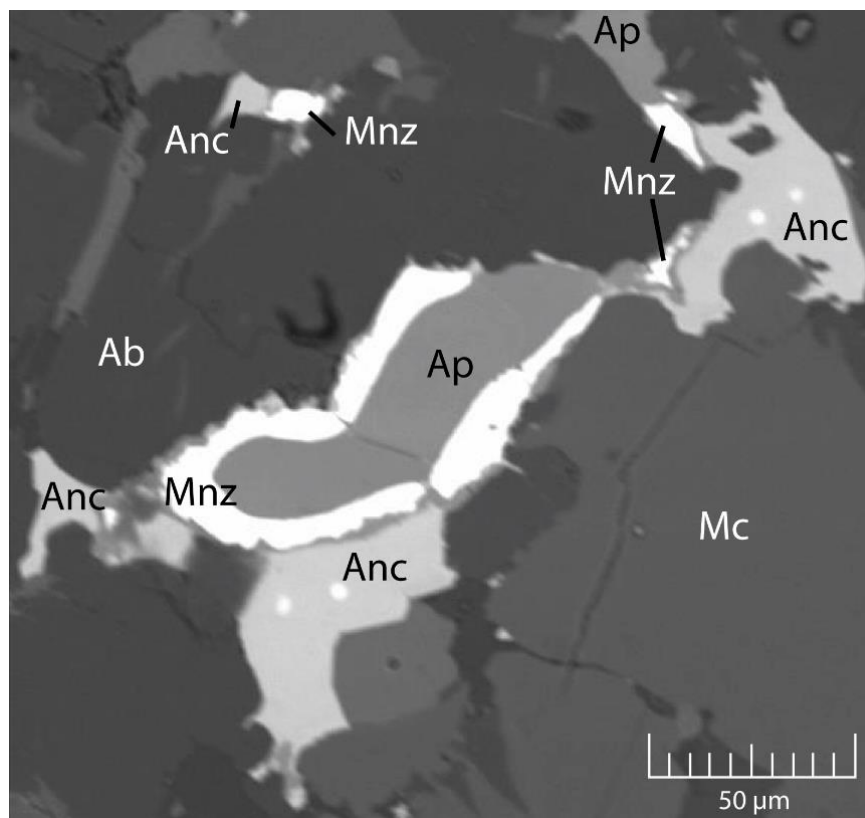


Figura 29. Imagem BSE da lâmina 2200 referente a ocorrência de monazita (Mnz) com apatita (Ap) e ancilita (Anc) em fratura de cristal de microclínio (Mc) com exsolução de albita (Ab). As regiões circulares brancas nos cristais de ancilita correspondem aos locais analisados, pois esse mineral não resiste bem ao feixe de elétrons.

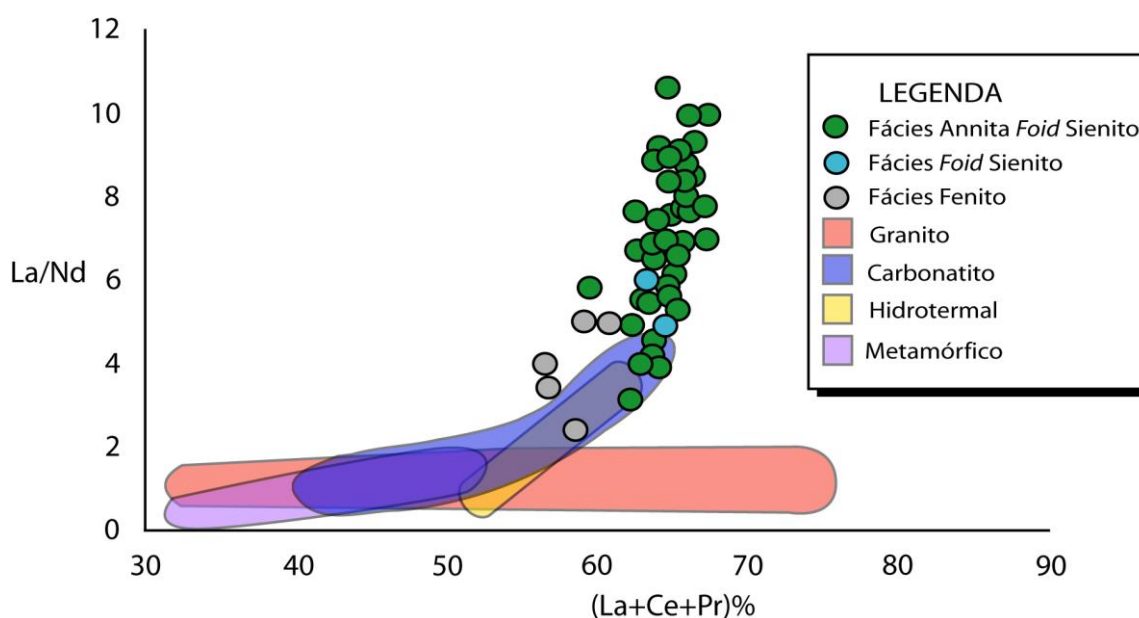


Figura 30. Diagrama com base nos conteúdos dos ETR [La/Nd versus (La+Ce+Pr)%] contidos na monazita, representando o seu grau de fracionamento com relação a sua origem (Após Fleischer & Altschuler, 1969). Granito (Rapp & Watson 1986; Zhu e O'Nions 1999), Carbonatito (Toledo *et al.* 2004; Kim *et al.* 2005), Hidrotermal (Zhu e O'Nions 1999) e metamórfico (Zhu e O'Nions 1999).

VI.13. BADDELEYÍTA

É um óxido de zircônio que comumente está associado a apatita, ilmenita, zircão e zirconolita (Heaman & LeCheminant 1993), ocorrendo desde rochas terrestres como carbonatitos (Williams 1996), basaltos (Janasi *et al.* 2011), anortositos (Varlamova *et al.* 2007), sienitos alcalinos (Marcks & Marckl 2001), tekititos (Clarke & Wosinski 1967), kimberlitos (Kerschhofer *et al.* 2000) e em rochas lunares (Prinz *et al.* 1973) e acondritos (Prinz *et al.* 1977).

A sua origem é principalmente relacionada ao estágio final de cristalização em magmas máficos enriquecidos em elementos incompatíveis. É observado também a sua formação a partir da dissociação do zircão durante o impacto de meteorito (El Goresy 1965), por desilicificação de cristais de zircão do manto através de metassomatismo mantélico (Kresten 1973) e em metamorfismo de contato através da quebra do zircão original (Kato & Matsubara 1991).

A baddeleyíta é considerada um mineral ideal para datação U-Pb por apresentar U abundante (>3000 ppm), raramente ocorrendo como xenocristal (Heaman & LeCheminant 1993). Comumente utilizada para datação em complexos máficos (Amelin *et al.* 1999; Janasi *et al.* 2011) e sendo importante mesmo em rochas já metamorfoseadas devido a sua alta temperatura de fechamento, apresentando apenas o sobrecrecimento de zircão em suas bordas (Heaman & LeCheminant 1993).

As análises químicas de baddeleyíta estão na tabela 29 e no Anexo VII, tendo sido realizadas 46 análises, distribuídas em todas as fácies estudadas. A fórmula estrutural foi calculada em um múltiplo de quatro como feito no trabalho de Bellatreccia *et al.* (1998) afim de evidenciar a distribuição dos elementos com menor volume.

A fórmula ideal da baddeleyíta é:



Tabela 29. Análises químicas representativas pontuais de cristais de baddeleyíta.

Lâmina	2195	2195	2195	2200	2200	2200	2202B	2202B	2202B
Fácies	Annita Foid/Sienito			Foid/Sienito			Fenito		
Análise	1	6	9	21	24	25	35	36	37
ZrO ₂	90,90	95,20	93,40	95,20	98,90	98,40	94,80	94,90	95,10
Nb ₂ O ₅	4,50	2,70	2,60	3,60	0,00	0,00	2,50	2,30	2,50
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
UO ₂	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,20	0,30	0,20
HfO ₂	1,20	1,80	0,30	0,80	1,10	0,90	1,40	1,50	1,30
FeO	3,30	0,30	1,10	0,50	0,00	0,50	0,90	0,80	0,80
TiO ₂	0,10	0,00	0,40	0,00	0,00	0,20	0,30	0,30	0,20
Total	100,00	100,00	100,10	100,10	100,00	100,00	100,10	100,30	100,10
Fórmula estrutural com base em quatro cátions e oito oxigénios									
Zr	3,730	3,867	3,821	3,848	3,981	3,962	3,848	3,852	3,858
Nb	0,127	0,075	0,073	0,100	0,000	0,000	0,070	0,064	0,070
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
U	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,003
Hf	0,021	0,032	0,005	0,014	0,019	0,016	0,025	0,026	0,023
Fe	0,172	0,015	0,057	0,026	0,000	0,026	0,046	0,041	0,041
Rb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,005	0,000	0,019	0,000	0,000	0,009	0,014	0,014	0,009
Total	4,050	3,989	4,006	3,988	4,000	4,004	3,992	3,991	3,994

A posição preenchida pelo Zr^{4+} pode ser complementada por Nb^{5+} , Th^{4+} , U^{4+} , Hf^{4+} , Ta^{5+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Na^{+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Rb^{+} até um total de quatro cátions. Os cristais observados apresentaram tamanhos de 5 μ m a 25 μ m com formas subédricas a por vezes anédricas. Comumente incluso em annita, e associado a pirocloro (Fig. 26) e torianita. Ocasionalmente foi observado o sobrecrecimento de zircão.

Heaman & LeCheminant (1993) descrevem uma correlação entre os conteúdos de Hf, Ti e Fe na baddeleyita e o tipo de rocha onde ocorre, sendo que as rochas alcalinas (saturadas e insaturadas em SiO_2) e rochas carbonatíticas apresentam um maior conteúdo de Hf em relação ao Ti e Fe. No CAFA, embora não tenha atingido o maior conteúdo, o Hf (0%-2,1%) ocorre em maior quantidade em um maior número de cristais em relação ao Fe (0-3,3%) e ao Ti (0-0,4%).

VI.14. ZIRCONOLITA

É um raro mineral acessório que tem sido identificado em vários tipos de rochas, como: meteoritos (Ma *et al.* 2013; Irving *et al.* 2014), anortositos lunares (Wark *et al.* 1973), *foiid* sienitos (Platt *et al.* 1987), xenólitos mantélicos (Della Ventura *et al.* 2000), suítes ultramáficas (Rajesh *et al.* 2006), kimberlitos (Willians & Gieré 1996), carbonatitos (Bellatreccia *et al.* 1999) safirina-granulitos (Harley 1994), skarns (Gieré 1986), pegmatitos (Haifler & Škoda 2012), meta-carbonatos (Purtscheller & Tessadri 1985) e lateritas (Nishio & Minakawa 2004). Todavia, a zirconolita é relativamente comum em rochas evoluídas de suítes alcalinas subsaturadas em SiO_2 (Gieré 1986). A depender do tipo de rocha onde ocorra, a zirconolita apresenta composição química que permite inferir a natureza do magma onde cristalizou (Gieré *et al.* 1998; Stucki *et al.* 2001).

A zirconolita pode acomodar altas proporções de ETR e actínídeos principalmente U e Th, o que permite a sua utilização como geocronômetro (Rasmussen & Fletcher 2004), principalmente em rochas máficas onde a ocorrência de zircão é restrita.

A zirconolita é caracterizada com quatro variações de acordo com a sua estrutura cristalina (Bayliss *et al.* 1989): polimignita é a variedade metamítica (não cristalina); zirconolita-3O sendo ortorrômbica; zirconolita-3T sendo trigonal e a zirconolita-2M é monoclinica. Por sua vez, a variedade cúbica ficou nomeada como zirkelita, um óxido de Zr muito semelhante a zirconolita mas com um conteúdo elevado em ZrO_2 .

Os dados químicos para a zirconolita estão na tabela 30 e no Anexo VIII, sendo realizadas análises, distribuídas apenas na Fácies Fenito.

A fórmula estrutural geral para a zirconolita é:



$M1 = Ca^{2+}, ETR^{3+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+}, Na^+ \text{ e } Y^{3+}$

$M2 = Zr^{4+}, Hf^{4+}, T^{3+}, U^{4+}, Th^{4+}, Pb^{2+}, ETR^{3+}, Y^{3+}$

$M3 \text{ e } M4 = Ti^{4+}, Zr^{4+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Cr^{3+}, Si^{4+}, W^{5+}, Nb^{+5}, Ta^{+5}$

A distribuição dos elementos se deu inicialmente com o preenchimento dos sítios M4 (coordenação 5) e M3 (coordenação 6) por Ti^{4+} . Esses sítios podem igualmente acomodar $Ti^{4+}, Zr^{4+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Cr^{3+}, Si^{4+}, W^{5+}, Nb^{+5}$ e Ta^{+5} até um total de um cátion em cada sítio. Em seguida foi preenchida a posição M2 (coordenação 7) preferencialmente por Zr^{4+} e complementada por $Hf^{4+}, T^{3+}, U^{4+}, Th^{4+}, Pb^{2+}, ETR^{3+}, Y^{3+}$ até um cátion. Por fim, o sítio M1 (coordenação 8) inicialmente preenchido por Ca^{2+} e posteriormente por $ETR^{3+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+}, Na^+ \text{ e } Y^{3+}$ foi completado até um cátion. O membro puro simples considerado por Bayliss *et al.* (1989) é $CaZrTi_2O_7$.

Os cristais de zirconolita são subédricos, anédricos e apresentam diâmetros compreendidos entre 2 μm e 20 μm . Eles ocorrem como inclusões em cristais de feldspato alcalino pertítico ou antipertítico e oligoclásio antipertítico (Fig. 31). Normalmente localizam-se nos contatos entre as fases potássica e sódica nesses cristais. E, mostram-se associados a cristais de zircão, baddeleyíta, pirita, ilmenita, monazita e esfalerita.

A composição química dos cristais analisados (Anexo XVI) apresentam variação de: 32,0-36,1% ZrO_2 ; 23,6-29,3% TiO_2 ; 6,3-10,1% CaO ; 4-8,1% FeO ; 7,7-11,3% Nb_2O_5 ; 0,5-10,9% ThO_2+UO_2 ; 4,4-7,9% ETR_2O_3 ; e até 6,1% Y_2O_3 . As análises de número 23 até 28, com altos conteúdos de ThO_2 (6,25-8,5%) e UO_2 (2%-3%), apresentam os valores mais baixos do total de cátions (3,827 a 3,857).

A literatura descreve o processo de cristalização da zirconolita como podendo ocorrer em condições magmática, metassomática (Heaman & LeCheminant 1993) e metamórfica (Gieré 1986; Gieré 1990; Gieré & Willians 1992; Ried 1994). A cristalização de zirconolita em magmas subsaturados em óxido de silício é usual e bem documentada em carbonatitos (Bellatreccia *et al.* 1999), *foi*d sienitos (Platt *et al.* 1987), kimberlitos (Willians & Gieré 1996), ultrabásicas (Rajesh *et al.* 2006) e ultrapotássicas (Della Ventura *et al.* 2000).

Os diagramas ternários $ETR-(Th+U)-(Nb+Ta)$ e $(Th+U)-Ca-(ETR+Y)$ têm sido aplicados para estabelecer a afinidade magmática de cristais de zirconolita (Figs. 32 e 33). Nesses diagramas percebe-se que os cristais estudados posicionam-se predominantemente no campo das zirconolitas de carbonatitos, com algumas análises ocupando o campo dos sienitos subsaturados em SiO_2 . Observa-se a existência de dois conjuntos de cristais de zirconolita (Figs. 32 e 33), com base nos valores do somatório $(Th+U)$. A maioria dos cristais estudados apresenta conteúdos de ThO_2+UO_2 compreendidos entre 0,8% e 3,2% e em uns poucos cristais esses valores variam de 8% até 10,9%.

Comparando-se os dados químicos dos cristais de zirconolita do CAFA com aqueles dos carbonatitos de Jacupiranga (Bellatreccia *et al.* 1999) constata-se que os cristais do CAFA apresentam conteúdos de ThO_2+UO_2 superiores aos da zirconolita metamítica de Jacupiranga (CAFA: ~10%; Jacupiranga: 8,4%). Os conteúdos em $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ (CAFA: ~10%; Jacupiranga: ~12%) são similares entre os dois tipos de rocha. Todavia, os conteúdos em $ETR_2O_3+Y_2O_3$ são bem mais elevados nas amostras estudadas (CAFA: ~9%; Jacupiranga: 2,8%).

Tabela 30. Análises químicas pontuais de cristais de zirconolita.

Lâmina		2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B	2202B
Fácies		Fenito														
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ZrO2	35,20	34,60	34,20	34,80	34,20	34,70	32,50	33,00	32,30	32,50	33,10	32,00	36,10	34,70	35,60	
TiO2	28,40	29,30	26,00	26,80	26,70	27,60	23,60	25,20	25,60	24,30	24,00	24,20	26,90	28,20	25,30	
CaO	8,70	9,30	8,50	8,40	8,50	8,30	7,50	10,10	6,90	6,80	6,30	7,30	8,50	9,10	8,20	
FeO	7,50	7,70	7,60	7,80	8,10	7,70	6,90	4,50	4,90	3,80	4,40	4,00	6,60	7,80	6,70	
Nb2O5	8,70	9,20	9,40	9,60	9,90	9,70	9,50	10,50	9,90	10,10	11,30	10,00	8,90	10,20	9,80	
ThO2	0,50	0,90	1,90	0,40	1,10	1,30	6,20	7,70	7,40	8,50	7,50	6,80	2,20	1,80	0,40	
UO2	0,00	0,30	0,00	0,40	0,50	0,40	2,10	2,40	2,40	2,40	3,00	2,10	0,40	0,60	0,40	
Al2O3	0,60	0,70	0,60	0,70	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,60	0,00	0,00	
SiO2	0,70	0,60	0,50	0,50	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	0,80	0,00	0,00	
Y2O3	2,50	0,00	2,60	2,40	2,60	2,60	3,90	0,00	4,00	5,30	4,80	2,30	3,30	0,00	6,10	
Ce2O3	3,40	3,70	3,70	3,10	3,20	3,20	3,00	3,80	3,80	3,10	2,70	3,60	3,00	3,30	3,10	
Nd2O3	3,40	2,80	3,60	3,30	3,00	2,90	3,00	2,50	2,50	3,20	2,80	2,40	2,60	4,20	2,70	
HfO2	0,30	0,30	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ta2O5	0,00	0,70	1,30	1,10	1,60	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total	99,90	100,10	99,90	99,40	99,40	100,10	98,20	99,70	99,70	100,00	99,90	99,60	99,90	99,90	98,30	
Fórmula estrutural com base em quatro cátions e sete oxigênios																
Ca	0,581	0,616	0,580	0,568	0,582	0,557	0,536	0,713	0,492	0,489	0,450	0,497	0,573	0,616	0,560	
Y	0,083	0,000	0,088	0,081	0,088	0,087	0,139	0,000	0,142	0,189	0,170	0,078	0,110	0,000	0,207	
Ce	0,078	0,084	0,086	0,072	0,075	0,073	0,073	0,092	0,092	0,076	0,066	0,084	0,069	0,076	0,072	
Nd	0,076	0,062	0,082	0,074	0,069	0,065	0,072	0,059	0,059	0,077	0,067	0,054	0,058	0,095	0,061	
Th	0,007	0,013	0,028	0,006	0,016	0,019	0,094	0,116	0,112	0,130	0,114	0,098	0,031	0,026	0,006	
U	0,000	0,004	0,000	0,006	0,007	0,006	0,031	0,035	0,036	0,036	0,045	0,030	0,006	0,008	0,006	
Zr	1,069	1,043	1,062	1,070	1,066	1,059	1,058	1,061	1,047	1,064	1,077	0,991	1,107	1,069	1,107	
Hf	0,005	0,005	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ti	1,331	1,363	1,246	1,272	1,285	1,300	1,185	1,250	1,281	1,227	1,205	1,157	1,273	1,340	1,214	
Fe	0,391	0,398	0,405	0,411	0,433	0,403	0,385	0,248	0,272	0,213	0,246	0,213	0,347	0,412	0,357	
Nb	0,279	0,292	0,308	0,311	0,325	0,312	0,326	0,356	0,338	0,348	0,388	0,326	0,288	0,331	0,321	
Al	0,044	0,051	0,045	0,052	0,000	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,120	0,044	0,000	0,000	
Si	0,044	0,037	0,032	0,032	0,000	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,210	0,050	0,000	0,000	
Ta	0,000	0,013	0,024	0,020	0,030	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Total	3,986	3,980	3,985	3,976	3,977	3,965	3,962	3,929	3,871	3,850	3,827	3,857	3,959	3,974	3,911	

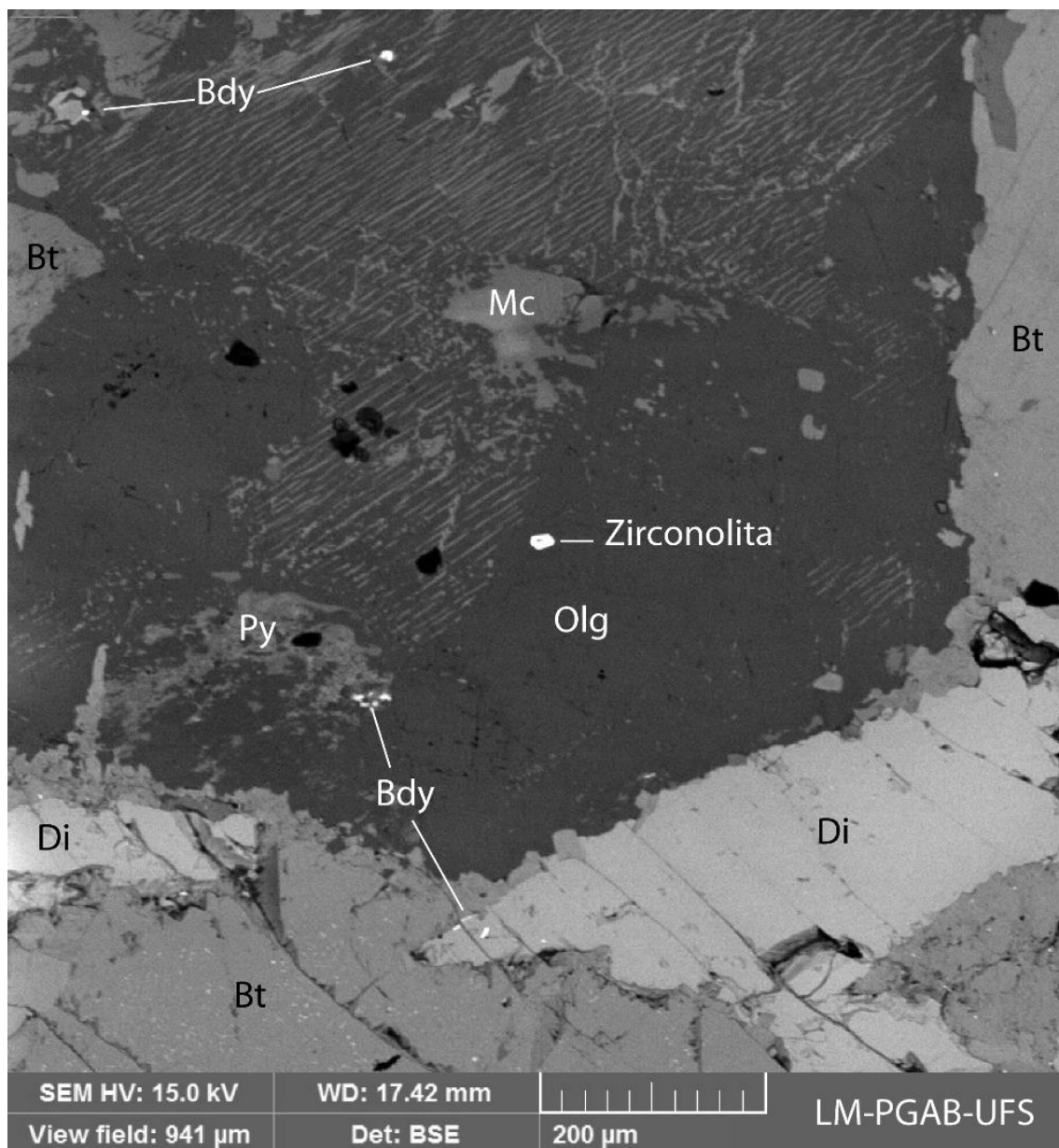


Figura 31. Imagem BSE da textura do fenito apresentando cristal de zirconolita subédrico, com dimensão de 15 μm incluso em oligoclásio antipertítico. Biotita (Bt), diopsídio (Di), baddeleíta (Bdy), pirita (Py), microclina (MC), oligoclásio (Olg). As regiões pretas na imagem correspondem a buracos na lâmina polida.

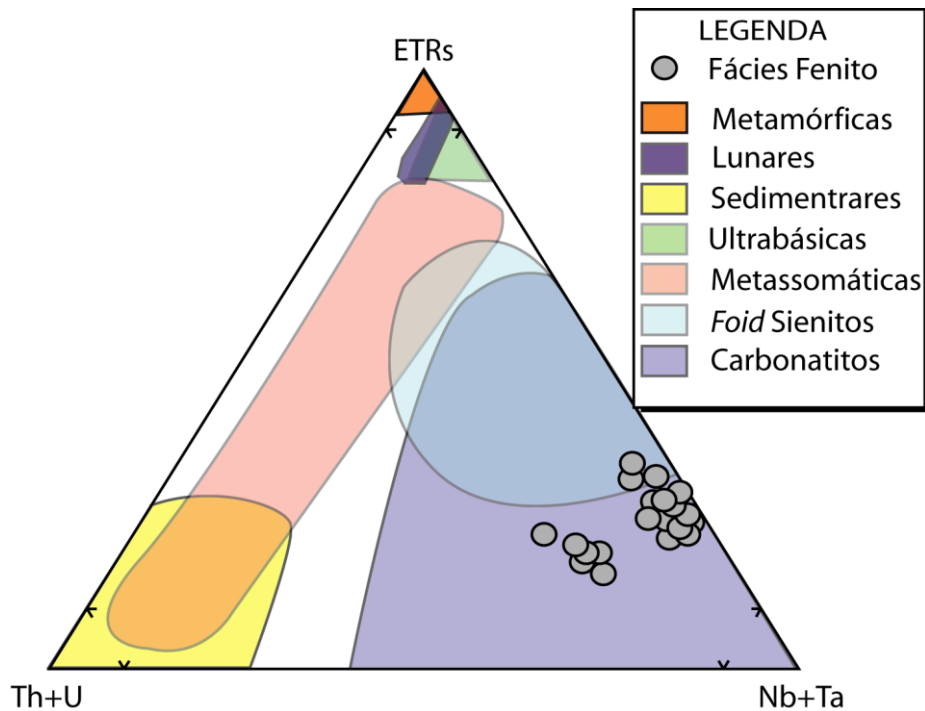


Figura 32. Diagrama catiônico ETR-(Th+U)-Nb+Ta de Bellatreccia *et al.* (1999) com os campos delimitando a ocorrência de zirconolita em rochas como: metamórficas (Harley 1994), lunares (Willians & Gieré 1996), sedimentares (Nishio & Minakawa 2004), ultrabásicas (Rajesh *et al.* 2006), metassomáticas (Willians & Gieré 1996), foid sienitos (Wall *et al.* 1987) e carbonatitos (Bellatreccia *et al.* 1999; Willians & Gieré 1996).

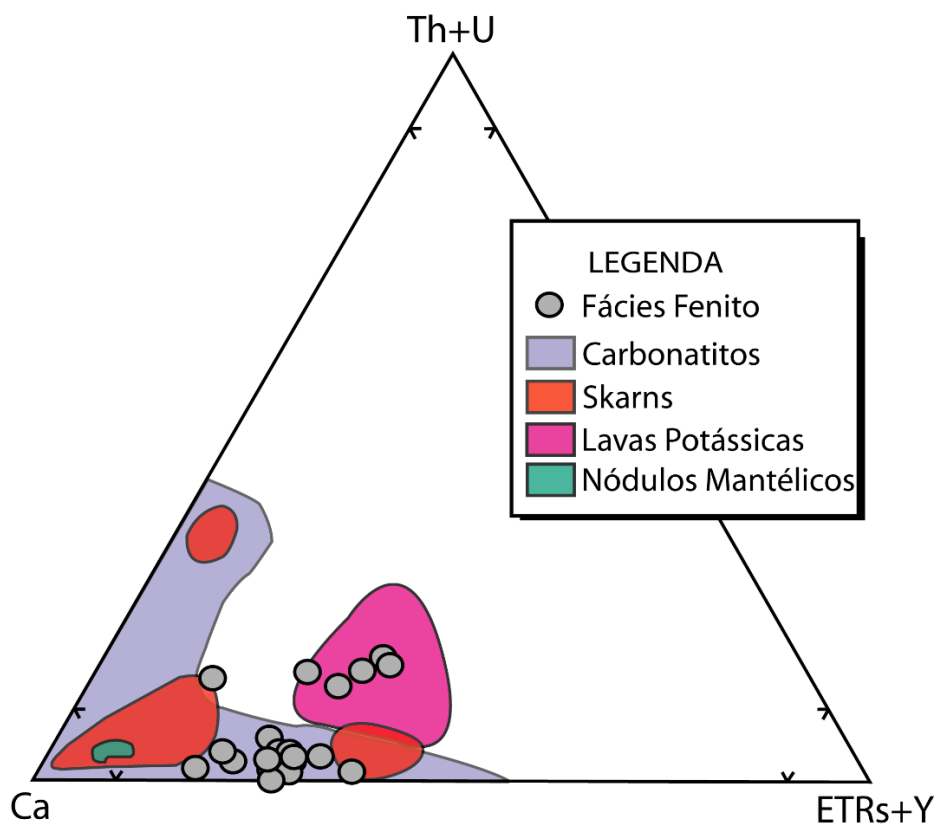


Figura 33. Diagrama catiônico (Th+U)-Ca-(ETR+Y) de Rajesh *et al.* (2006) com campos delimitando as composições de cristais de zirconolita em rochas como: carbonatitos (Willians & Gieré 1996), skarns (Willians & Gieré 1996), lavas potássicas (De Hoog & van Bergen 1997) e nódulos mantélicos (Horning & Worner 1991).

A forma de inclusão principalmente nos limites das fases de reequilíbrio do oligoclásio e microclínio e a sua afinidade com rochas carbonáticas visualizada nos diagramas (Fig. 32,33) acima sugerem que a zirconolita foi formada a partir da interação do fluido carbonático magmático tardio proveniente do fracionamento dos *foid* sienitos com o fenito.

VI.15. TORIANITA

A torianita foi descoberta em 1903 no distrito de Galle, no Sri Lanka (atual Myanmar), através de uma busca por minerais econômicos, onde era classificado como uraninita até a realização das análises químicas (Dunstan & Blake 1905). Ocorre como mineral acessório em pegmatitos graníticos, em concentrados detríticos de minerais pesados e raramente em carbonatitos e serpentinitos.

A torianita faz solução sólida com a uraninita (UO_2), onde a nomenclatura das composições intermediárias é dada através da razão U/Th, segundo Kapustin (1965): $\text{U}:\text{Th} > 5:1$ para a uraninita, $5:1 > \text{U}:\text{Th} > 1:1$ para a thoriouraninita, $\text{U}:\text{Th} < 1:5$ para a torianita e $1:5 > \text{U}:\text{Th} < 1:1$ para a uranotorianita.

Na natureza ocorrem cerca de 30 minerais de tório, sendo a torianita a que apresenta o maior conteúdo de Th que pode chegar facilmente a mais de 90% (Smirnov *et al.* 1983). É comumente utilizado para datação devido as concentrações de U-Pb e do próprio Th (Naemura *et al.* 2008).

Os dados químicos para a torianita estão contidos na tabela 31, onde foram realizadas 20 análises ocorrendo apenas na lâmina 2195 referente a Fácies Annita *Foid* Sienito.

A fórmula ideal da torianita é:



Com relação a distribuição dos elementos na fórmula estrutural a posição ocupada inicialmente pelo Th^{4+} pode ser preenchida também por U^{4+} , Pb^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} , Ta^{5+} , Yb^{3+} perfazendo o sítio até um cátion.

Tabela 31. Análises químicas pontuais de cristais de torianita.

Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies		Annita <i>Foid</i> Sienito																		
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ThO ₂	76,30	77,30	73,40	74,00	72,00	71,30	68,90	84,00	81,30	81,50	92,60	91,50	88,70	86,40	77,50	75,00	71,60	57,60	62,90	89,30
UO ₂	18,00	16,90	21,40	19,50	20,90	22,50	24,10	12,60	14,90	15,00	3,70	4,60	6,70	3,90	17,70	18,30	22,70	37,10	31,50	7,20
ZrO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	0,60	0,60	0,00	1,00	0,80	0,90	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00
PbO	4,60	4,10	4,50	4,90	5,30	4,60	5,10	3,50	3,80	3,50	3,30	3,50	3,40	3,10	4,30	4,30	4,70	5,30	5,70	3,50
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,50	1,10	0,70	0,60	1,00	0,70	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,60	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yb ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,10	100,00	100,00	99,90	100,10	99,90	99,90	100,10	98,10	100,00	100,00	100,10	100,00
Fórmula estrutural com base em um cátion e dois oxigênios																				
Th	0,761	0,764	0,745	0,728	0,711	0,703	0,675	0,854	0,829	0,830	0,940	0,923	0,893	0,815	0,786	0,777	0,717	0,594	0,648	0,907
U	0,175	0,163	0,212	0,188	0,202	0,217	0,231	0,125	0,148	0,149	0,037	0,045	0,066	0,036	0,175	0,185	0,222	0,374	0,317	0,072
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Si	0,026	0,026	0,000	0,043	0,035	0,039	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000
Pb	0,054	0,048	0,054	0,057	0,062	0,054	0,059	0,042	0,046	0,042	0,040	0,042	0,041	0,035	0,052	0,053	0,056	0,065	0,069	0,042
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,042	0,093	0,061	0,050	0,084	0,059	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	0,000	0,052	0,044	0,043	0,000	0,000	0,000
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Yb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	1,059	1,093	1,072	1,066	1,094	1,071	1,080	1,021	1,023	1,021	1,021	1,053	1,041	1,017	1,065	1,059	1,060	1,032	1,035	1,021
U/Th	0,236	0,219	0,292	0,264	0,290	0,316	0,350	0,150	0,183	0,184	0,040	0,050	0,076	0,045	0,228	0,244	0,317	0,644	0,501	0,081

Foram observados cristais anédricos a subédricos com tamanhos variando entre 1 μm a 10 μm e ocorrendo inclusos em zircão, microclínio, annita e por vezes associado a baddeleyíta.

Dentre os principais óxidos analisados os conteúdos de ThO_2 ficaram compreendidos entre 57,60 e 92,60%, o UO_2 apresentou valores de 3,7 a 37,10% e o PbO variou entre 3,10 a 5,7%. Segundo a classificação proposta por Kapustin (1965) os cristais analisados foram nomeados como uranotorianita com razão U/Th de 0,219 a 0,644 e torianita com 0,045 a 0,184.

VI.16. HIDROXIFLUORETOS DE ETR

Está compreendido em grupo de minerais de rara ocorrência e ainda pouco estudados, onde a caracterização de indivíduos com variações composicionais não foi estabelecida.

A ocorrência desses minerais foi registrada em granitos como parte da mineralogia acessória (Johan & Johan 1994), estando associados a fases fluidas tardias e hidrotermais (Teixeira 2002).

Os dados químicos para os hidroxifluoretos estão contidos na tabela 32, onde foram realizadas análises nas fácies Annita Foid Sienito e Foid Sienito.

A fórmula geral para os hidroxifluoretos é:



O preenchimento se deu inicialmente na posição ocupada pelos ETR, sendo eles La^{3+} , Nd^{3+} , Ce^{3+} , Pr^{3+} , Y^{3+} e apresentando também conteúdos de Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Si^{4+} e Sr^{+} que perfizeram o sítio até um cátion. A posição do F^{-} , preenchida até um, apresentou pequenos conteúdos de Cl^{-} e o conteúdo de OH^{-} não pode ser calculado.

Os seus cristais apresentaram forma anédrica com tamanhos entre $<0,1 \mu\text{m}$ a 15 μm , ocorrendo nas fraturas em annita sendo associada com ancilita e apatita.

Tabela 32. Análises químicas pontuais de cristais de hidroxifluoretos.

Lâmina	2173	2173	2173	2173	2200	2200	2200
Fácies	Annita Foid Sienito				Foid Sienito		
Análise	1	2	3	4	5	6	7
La₂O₃	53,83	57,82	56,88	56,41	47,03	51,02	53,95
Nd₂O₃	10,38	10,38	10,26	10,15	10,26	10,61	8,86
CaO	4,20	4,48	4,48	4,34	6,02	5,88	6,44
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	3,02	4,35
Ce₂O₃	1,52	1,41	1,76	2,23	8,55	4,09	10,07
Pr₂O₃	3,51	2,93	3,74	4,20	3,39	4,09	3,86
F	8,10	7,50	7,40	6,90	6,30	6,80	4,90
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00
SiO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00
Y₂O₃	3,17	3,30	3,56	3,05	0,00	0,00	0,00
Subtotal	84,71	87,81	88,08	87,27	83,64	86,06	92,63
F, Cl=O	3,41	3,16	3,12	2,91	2,65	2,91	2,11
Total	81,30	84,65	84,96	84,36	80,98	83,15	90,52
Fórmula estrutural calculada com base em um cátion							
La	0,550	0,562	0,550	0,552	0,418	0,446	0,423
Nd	0,103	0,098	0,096	0,096	0,088	0,090	0,067
Ca	0,249	0,253	0,252	0,247	0,310	0,299	0,293
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,085	0,109
Ce	0,015	0,014	0,017	0,022	0,075	0,036	0,078
Pr	0,035	0,028	0,036	0,041	0,030	0,035	0,030
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,000	0,000
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000
Y	0,047	0,046	0,050	0,043	0,000	0,000	0,000
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
F	1,420	1,250	1,227	1,158	0,960	1,020	0,658
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,014

O conteúdo de ETR variou de cerca de 70% a pouco mais de 77%, onde existe a predominância de La_2O_3 (47 - 57,8%). Na Fácies Annita *Foid* Sienito foram observados conteúdos de Y que não ocorreram na Fácies *Foid* Sienito e os conteúdos de Ce_2O_3 foram mais elevados na Fácies Fácies *Foid* Sienito (4 - 10%) que na Fácies Annita *Foid* Sienito (1,4 - 1,7%).

VI.17. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo foi importante para o entendimento sobre a evolução das rochas, comportamento e composição dos fluidos tardios, que não só transformaram minerais pré-existentes mas promoveram a formação de diversos minerais no estágio *sub-solidus*.

A mineralogia essencial reporta o fracionamento usual que ocorre em rochas alcalinas sub-saturadas, com a evolução da biotita para annita e do diopsídio para aegirina-augita (descrita apenas na petrografia). As temperaturas obtidas para os feldspatos e nefelina refletem o reequilíbrio a baixas temperaturas. Com relação aos feldspatóides não foram observadas variações composicionais expressivas, ocorrendo nos polos puros da sodalita e cancrinita e a nefelina em média com 3% de Qz e 19% de Ks.

Com relação aos acessórios usuais os carbonatos ocorreram de forma predominante sendo a calcita o mais comum, e a estroncionita de forma subordinada. A apatita ocorreu em duas fases de cristalização sendo a primária euédrica e a forma tardia que comumente ocorre em associação com ancilita e monazita. Com relação ao zircão foi observada uma geração anédrica e intersticial representando fase tardia. Na identificação dos minerais opacos predominaram as ocorrências de magnetita e ilmenita, onde somente na Fácies Fenito foram observadas exsoluções que permitiram as inferências sobre as baixas temperaturas e pressões em que ocorreu o reequilíbrio dessas rochas.

A partir das análises EDS no MEV foram descritos uma série de minerais que até então não tinham sido descritos na PASEBA.

A ancilita juntamente com a monazita foram os minerais insólitos observados com maior frequência, onde as suas formas de ocorrência apenas lhe sugerem uma ocorrência tardia.

O pirocloro por sua vez possui indícios de duas fases de cristalização, sendo a fase tardia a predominante.

Os cristais de baddeleyíta são euédricos e como comumente é descrito na literatura como formado posteriormente ao zircão, sendo por vezes observado o sobrecrecimento do zircão em suas bordas. Outro mineral de Zr observado foi a zirconolita, sendo apenas observado no fenito.

De uma forma geral os minerais de Zr, Nb, ETR apresentaram os seus maiores volumes associados ao estágio tardio. Nos diagramas para a ancilita, monazita, zirconolita (Figs. 24, 30, 32, 33) podem ser observadas afinidades com carbonatitos, que nas rochas estudadas se referem a composição do fluido tardio de CO₂ que foi o principal responsável pelo particionamento desses elementos.

VII. GEOQUÍMICA

VII. 1. INTRODUÇÃO

O estudo geoquímico foi feito com 26 amostras (Tab. 1) do total de 30 estudadas. Foram utilizadas 2 amostras para observar os extremos evolutivos das rochas sub-saturadas, sendo um traquito representando o termo mais primitivo (amostra 2216) e a outra corresponde a um sodalitito (amostra sod_2) representando o estágio mais evoluído da intrusão.

Os dados correspondem a elementos maiores, menores e traços que foram utilizados objetivando fazer inferências sobre a natureza das rochas estudadas, suas afinidades geoquímicas com as séries magmáticas e a evolução magmática.

VII.2. ELEMENTOS MAIORES

Os elementos maiores (Tab. 33) foram utilizados para a classificação das rochas, cálculo dos minerais normativos, assim como para inferência da série magmática e a tentativa de identificar a evolução magmática em diagramas de variação.

Constatou-se nas rochas sub-saturadas uma variação em SiO_2 de 45,3% a 59,7%; TiO_2 de 0,03% a 0,77%; de FeO_t de 1,34% a 18,3%; Na_2O de 6% a 8,6% e CaO de 0,13% a 5,2%.

A maioria das amostras apresentam um total de óxidos compreendidos entre os usualmente aceitáveis (99-101%). Todavia, algumas das amostras apresentam esse total com 97% (2174, 2200) ou mesmo 94% (Sod_2) esses baixos valores foram interpretados como devido a presença de sodalita, que se traduz por importante presença de cloro, elemento esse que não foi dosado pelas análises.

VII.2.1. Classificação Geoquímica

VII.2.1.1. Total Álcalis *versus* SiO_2

Utilizando o diagrama de $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ *versus* SiO_2 (Fig. 34) proposto por Middlemost (1985) é possível observar a tendência das rochas da ISn posicionando-se essencialmente no campo dos nefelina sienito e foidolítico a

foi monzossienito. A fácies Álcali Sienito tem amostras nos campos do monzonito e sienito. Os extremos evolucionais se caracterizam como um monzodiorito para o traquito e o sodalitito está posicionado além dos campos estabelecidos nesse diagrama, devido ao seu extremo enriquecimento em Na₂O (22,3%).

Percebe-se nesse mesmo diagrama que as amostras do traquito e dos álcali-sienitos são aquelas que localizam-se no campo de alcalinidade média, enquanto as demais amostras, com exceção da amostra 2203, alocam-se no campo de forte alcalinidade.

As amostras das fácies Fenito e Embasamento são sub-alcalinas e correspondem a granito a granodiorito, diorito e gabro (Fig. 34).

VII.2.1.2 Diagramas de Alcalinidade Na₂O+K₂O e (Na+K)/Al *versus* SiO₂

Dois diagramas distintos para rochas alcalinas são propostos por Currie (1976) figuras 35A e 35B. Nesses diagramas as rochas são classificadas de acordo com as famílias: Nefelinito, Sienito Agapaítico, Sienito Miasquítico, Basalto Alcalino, tendo ainda uma área para as rochas contendo melilita [Ca,Na)₂(Al,Mg,Fe)(Si,Al)₂O₇].

Em ambos os digramas as rochas estudadas posicionam-se no campo dos Sienitos Miasquíticos, ocorrendo uma pequena variação no campo dos Nefelina Sienitos e Nefelinitos. Já as rochas da Fácies Álcali Sienito junto com o traquito posicionam-se na Família dos Álcali-Basaltos, sendo ainda uma da Fácies Sienito Porfirítico ocorrendo no mesmo campo. Ao se comparar com as rochas de Itajú do Colônia (Cabral 2013) percebe-se que aquele *stock* exibe tendência mais agpaítica, provavelmente devido ao fato de conter maior volume de sodalita ao se comparar com as rochas deste estudo. O sodalitito estudado ocorre na porção superior da Família dos Sienitos Agpaíticos, sendo em um dos diagramas no limite com a Família dos Carbonatitos (Fig. 35B).

Tabela 33. Análises químicas com elementos maiores de rochas da Intrusão Sienítica do Complexo Alcalino Floresta Azul.

Amostra	2172	2173	2174	2176	2178	2195	2196	2197	2198	2199	2200
Fácies	Annita Foid Sienito										
SiO₂	53,80	46,60	45,30	54,50	53,30	53,00	55,20	52,90	54,40	53,90	54,60
TiO₂	0,13	0,77	0,58	0,18	0,15	0,30	0,22	0,21	0,11	0,19	0,29
Al₂O₃	21,90	19,10	19,10	22,00	21,60	20,70	22,70	21,90	22,80	20,00	21,70
FeO	1,60	9,70	8,90	4,30	2,40	3,40	2,40	2,60	1,00	3,30	2,90
Fe₂O₃	2,00	8,60	5,00	0,69	2,00	2,90	2,30	2,80	2,50	2,70	2,10
MnO	0,10	0,50	0,47	0,15	0,13	0,18	0,14	0,16	0,10	0,20	0,17
MgO	<0,10	0,03	0,24	<0,10	<10,00	0,17	<0,10	<0,10	<0,10	0,23	<0,10
CaO	0,74	0,13	3,70	1,40	0,77	2,70	1,40	2,10	1,30	2,70	1,20
Na₂O	7,30	3,20	5,20	7,00	6,40	6,20	6,10	6,90	7,40	6,00	7,30
K₂O	6,80	7,90	6,90	7,30	8,00	7,10	7,70	7,10	7,60	6,50	6,20
P₂O₅	0,01	<0,01	0,29	0,10	<0,01	0,08	0,04	0,08	0,01	0,13	0,07
CO₂	0,72	0,60	0,50	1,79	1,72	2,51	1,17	2,80	0,80	2,58	1,12
H₂O+	3,91	2,48	1,65	3,96	3,10	0,71	1,21	0,91	1,48	0,83	0,09
H₂O-	<0,01	0,53	<0,01	0,18	<0,1	0,15	0,52	0,18	<0,01	0,17	<0,01
Total	99,01	100,14	97,83	103,55	99,57	100,10	101,10	100,64	99,50	99,48	97,73

Amostra	2201	2202	2203	2204	2225	2206	2179	2205	2207	2208	2210	2215	2216	Sod_2
Fácies	Foid Sienito Porfíritico			Alcali Sienito		Fenito		Embasamento			Traquito		Sodalita	
SiO₂	52,21	57,60	59,70	64,70	56,40	54,90	67,60	72,00	47,00	59,10	69,80	72,40	50,90	43,00
TiO₂	0,63	0,05	0,03	0,10	1,20	0,07	0,60	0,27	3,20	0,70	0,17	0,32	2,40	<0,01
Al₂O₃	19,00	22,90	22,70	18,90	17,20	5,20	15,00	14,90	13,00	15,20	14,80	13,60	16,40	26,70
FeO	4,90	2,00	0,14	0,28	6,10	4,60	2,10	1,10	9,10	6,90	2,90	1,60	8,10	0,01
Fe₂O₃	2,60	1,00	1,20	2,70	2,20	0,97	2,50	2,50	6,80	2,20	0,81	1,20	3,40	0,31
MnO	0,21	0,11	0,04	0,09	0,19	0,37	0,06	0,03	0,23	0,14	0,08	0,05	0,16	0,02
MgO	2,80	<0,10	<0,10	<0,10	2,10	13,10	1,50	0,08	6,00	3,90	0,17	0,28	3,30	<0,01
CaO	5,20	0,38	0,20	0,82	4,40	17,80	3,20	2,10	10,20	7,30	1,10	1,10	7,50	0,13
Na₂O	6,30	8,60	7,70	5,80	4,50	0,55	3,20	3,70	2,40	2,50	3,90	3,40	3,10	22,30
K₂O	5,20	5,70	6,70	5,90	4,10	2,00	2,90	2,80	0,60	0,74	5,60	4,80	2,20	2,30
P₂O₅	0,24	0,02	0,03	0,04	0,47	0,04	0,11	0,05	0,57	0,14	0,03	0,09	0,55	<0,01
CO₂	1,47	1,01	0,86	0,49	0,40	0,30	0,70	0,40	0,71	0,35	0,15	<0,10	0,50	-
H₂O+	0,63	0,75	0,95	0,34	0,56	0,76	0,36	3,02	0,68	0,93	0,71	0,48	1,20	-
H₂O-	0,41	0,74	<0,01	0,14	0,28	0,74	0,16	<0,01	<0,01	0,18	0,59	0,12	0,14	-
Total	101,80	100,86	100,25	100,30	100,10	101,40	99,99	102,94	100,49	100,28	100,81	99,44	99,85	94,77

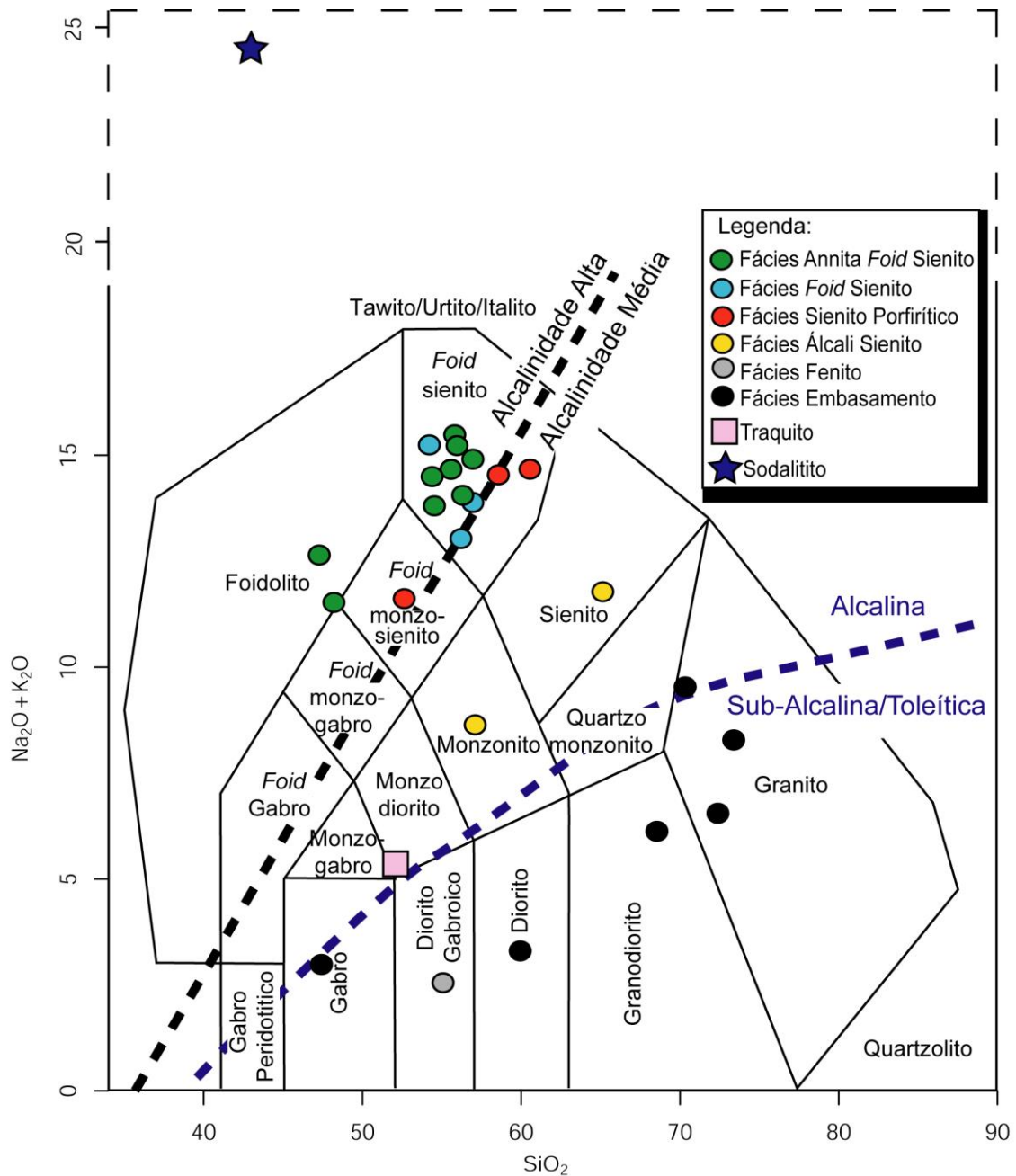


Figura 34. Diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 com campos segundo Middlemost (1985) aplicado as rochas estudadas do CAFA. Onde a curva em azul representa a divisão entre rochas alcalinas propostas por Irvine & Baragar (1971) e a reta em preto caracteriza a divisão das rochas com alcalinidade média a alta (Schwazer & Rogers 1974)

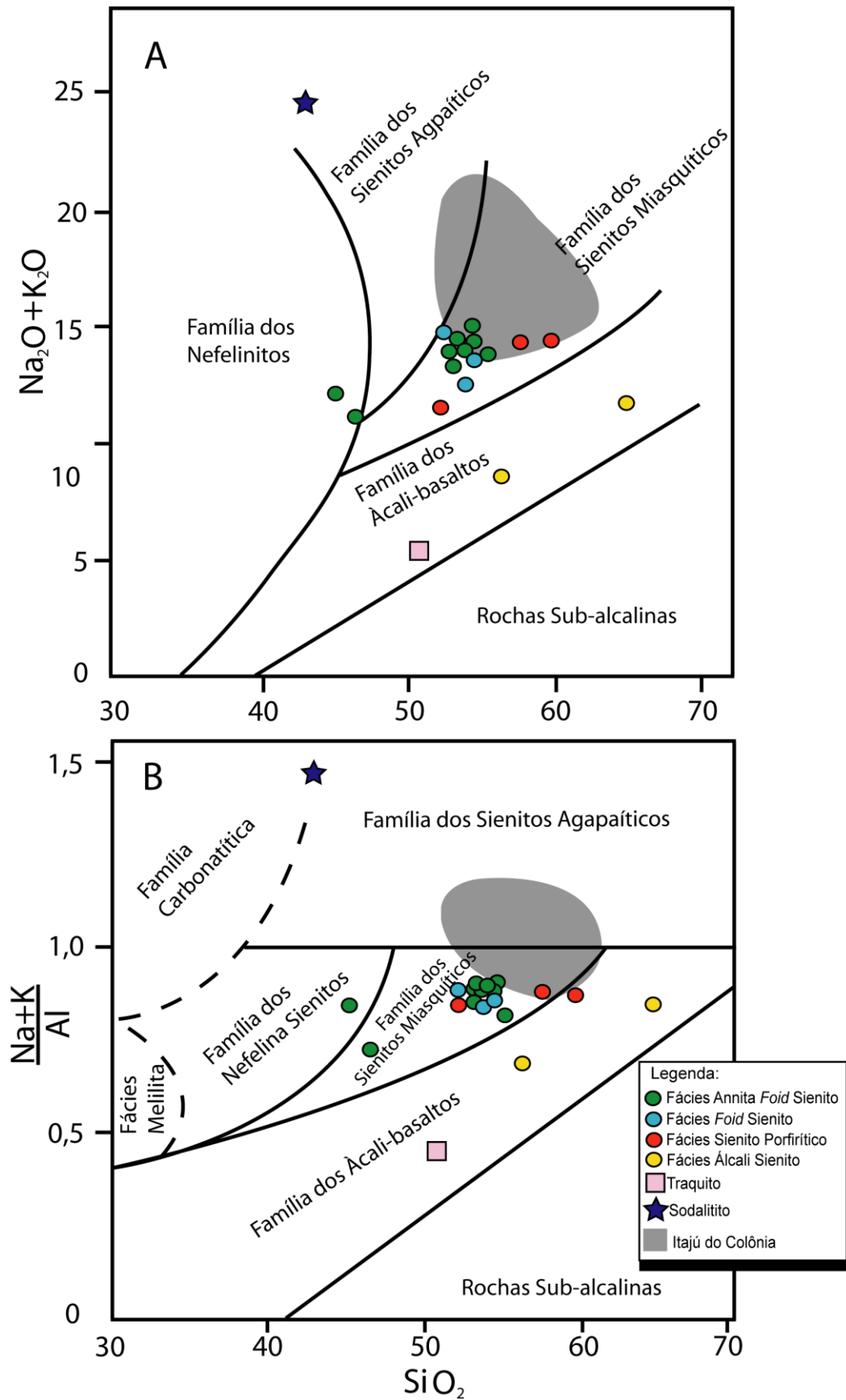


Figura 35. Diagramas de Currie (1976) para a classificação de rochas alcalinas com o campo dos sienitos do Stock Itaju do Colônia (Cabral, 2013). O Diagrama A corresponde $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 e o diagrama B corresponde ao Índice Agpaítico ($\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Al}}$ em mols) versus SiO_2 .

VII.2.1.3 Saturação em Alumínio

Utilizando-se a classificação Shand (1927) em diagrama de Maniar & Piccoli (1989) as rochas estudadas são essencialmente metaluminosas a peraluminosas (Fig. 36). As rochas do embasamento são metaluminosas e peraluminosas. Já a amostra da Fácies Fenito é peraluminosa. O traquito é metaluminoso e o termo mais evoluído representado pelo sodalitito é peralcalino.

VII.2.1.4 Diagramas AFM e K_2O versus SiO_2

Ao se alocar as amostras do embasamento no diagrama AFM (Irvine & Baragar 1971) percebe-se que elas posicionam-se nos campos das séries toleítica e cálcio-alcálica (Fig. 37). Já no diagrama de Peccerillo & Taylor (1976) as rochas do embasamento distribuem-se em todos os campos e o fenito posiciona-se no campo das rochas cálcio-alcálicas de alto-K (Fig. 38).

VII.2.2. Diagramas de Harker

Os diagramas de variação que utilizaram o óxido de SiO_2 como índice de diferenciação são nomeados como Diagramas de Harker. Utilizam-se nesse estudo com o objetivo de analisar a evolução das rochas da ISn. Colocou-se igualmente nesses diagramas as amostras do embasamento, com o intuito de avaliar uma possível contaminação nas rochas alcálicas pelas encaixantes.

Nesses diagramas observa-se um volume importante de amostras de sienitos concentradas entre 50% e 55% de SiO_2 . Não foi vista uma tendência evolutiva clara para os elementos maiores nas rochas estudadas (Fig. 39).

As amostras dos sienitos têm baixos conteúdos de TiO_2 , MgO , P_2O_5 , MnO , (<1%), CaO (<3%), e a razão $MgO/(FeO+Fe_2O_3)<0,1$ indicando que elas são fortemente diferenciadas.

Observa-se um enriquecimento em CO_2 muito importante nas amostras dos *foi*d sienitos e sienitos porfiríticos (Fig. 39). Esse crescimento elevado em CO_2 revela a participação dos fluidos na evolução destes sienitos, como expressa igualmente a formação de sodalitito nessa intrusão, indicando enriquecimento em cloreto.

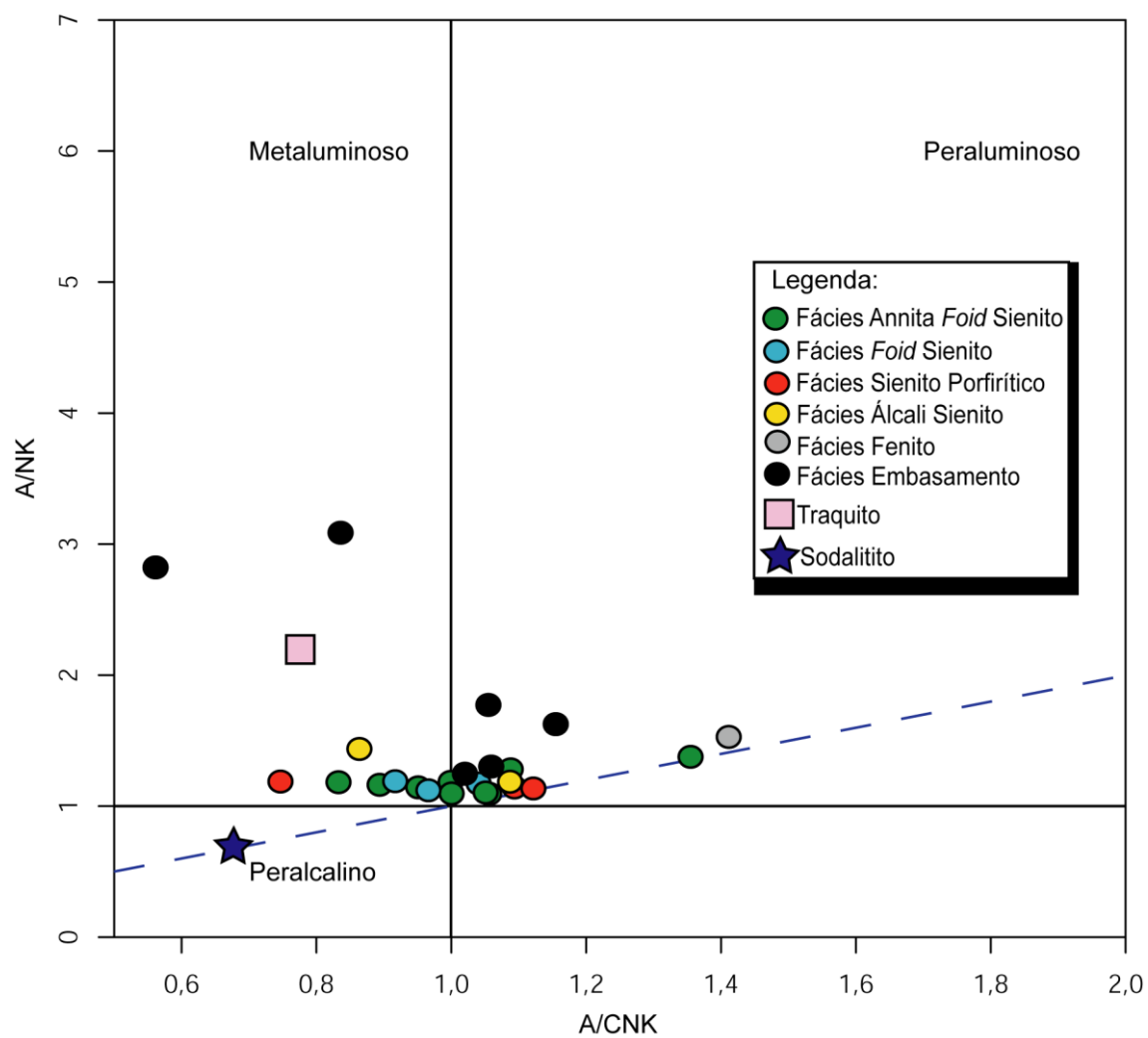


Figura 36. Diagrama $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ versus $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ segundo os índices de Shand nos campos propostos por Maniar & Piccoli (1989) aplicado as rochas estudadas do CAFA.

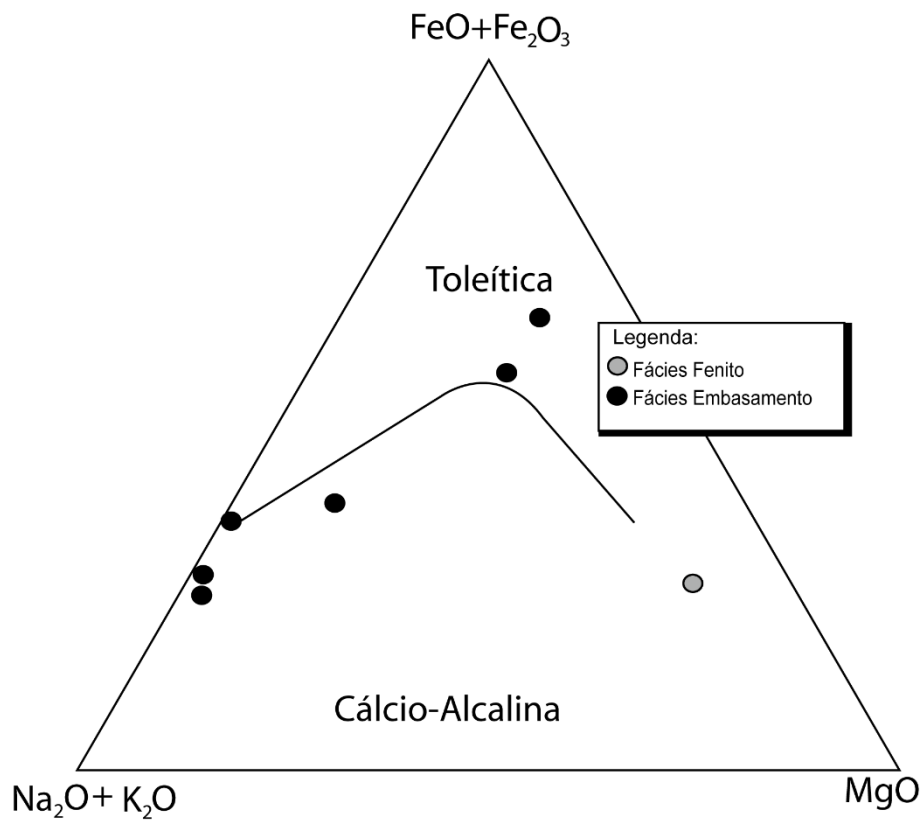


Figura 37. Diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971)

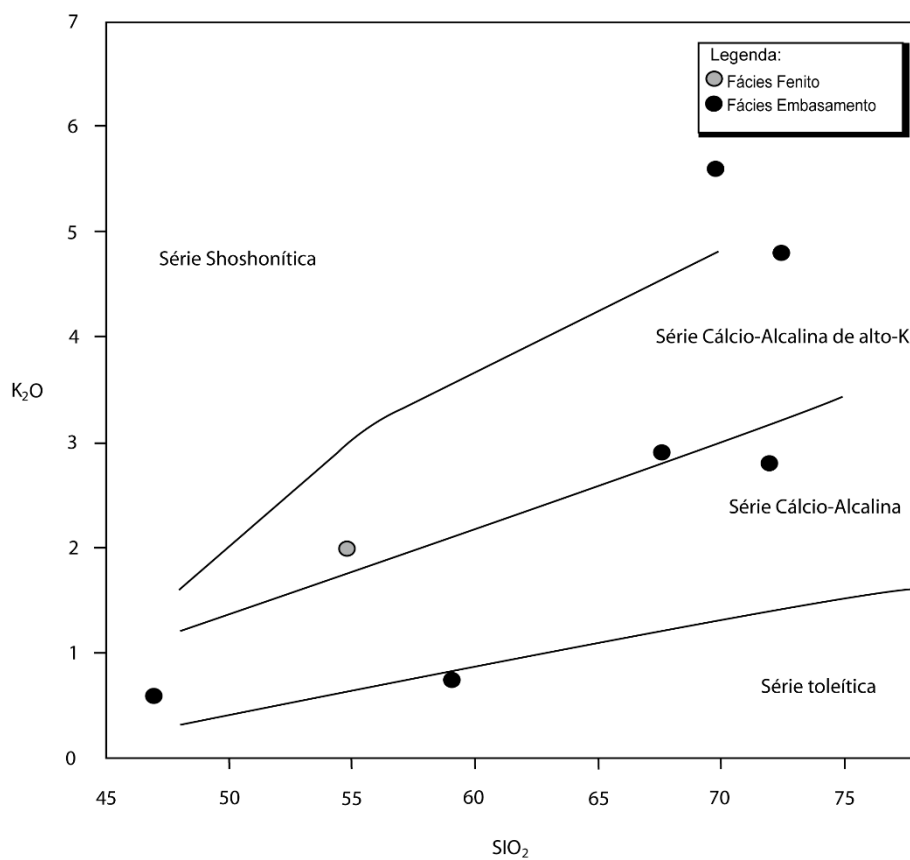
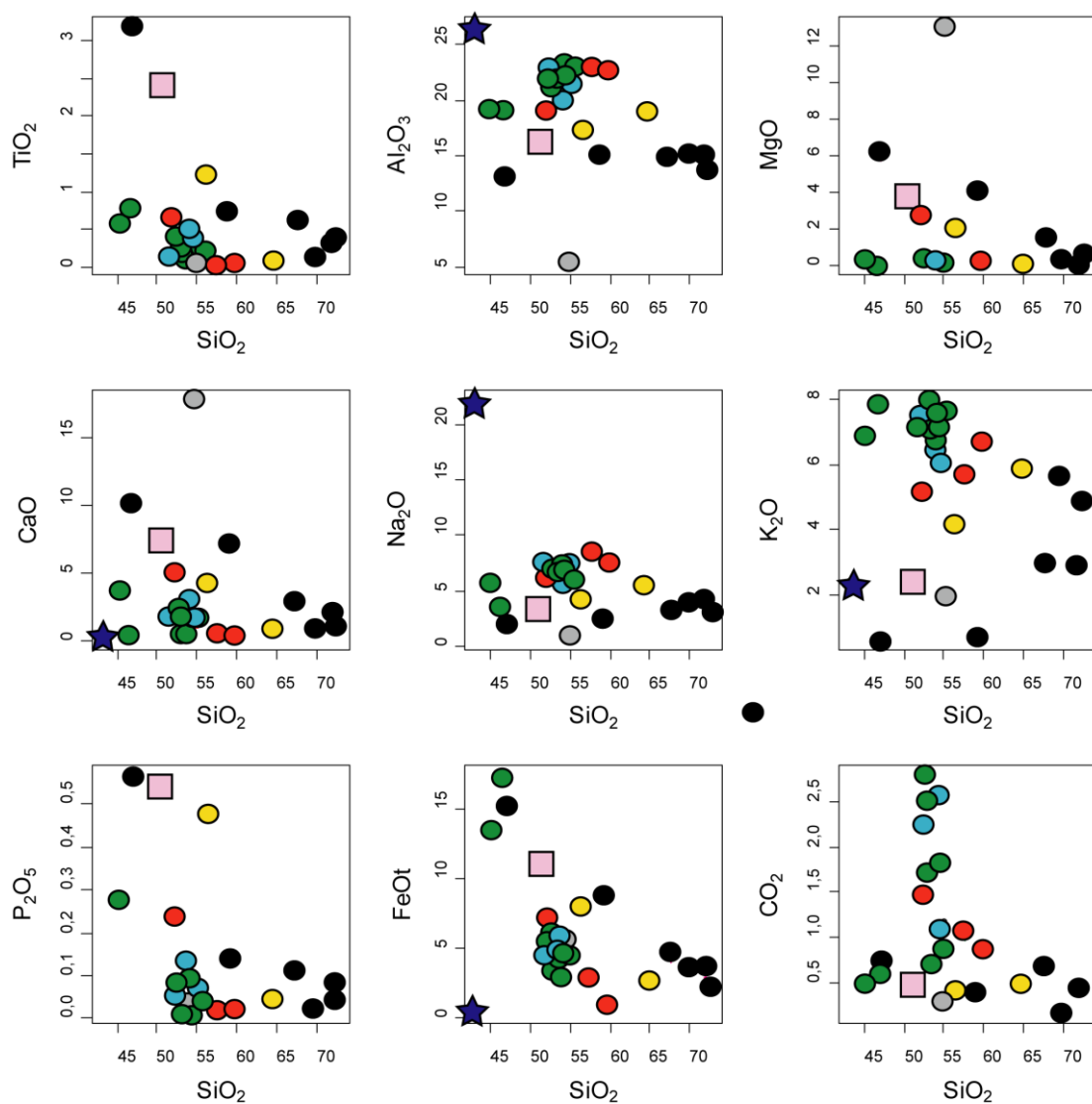


Figura 38. Diagrama K_2O versus SiO_2 , sendo os seus campos definidos por Peccerillo & Taylor (1976).



Legenda:

● Fácies Annita Foid Sienito	● Fácies Foid Sienito	● Fácies Sienito Porfírico	● Fácies Álcali Sienito
● Fácies Fenito	● Fácies Embasamento	■ Traquito	★ Sodalitito

Figura 39. Diagramas de Harker (1909) para elementos maiores aplicados as rochas estudadas do CAFA.

Nos diagramas de Harker foram observadas duas amostras da Fácies Annita *Foid* Sienito com conteúdos de SiO_2 de 45%(amostra 2174) e 46%(amostra 2173) que se distanciam na maioria dos digramas pelo seu menor conteúdo em sílica e possui valores elevados de FeOt, sendo essas características atribuídas a altas concentrações de annita que foram observadas nessas rochas.

Os elevados conteúdos em MgO e CaO e baixo em Al_2O_3 observados no fenito correspondem a ocorrência predominante de aegirina-augita.

As amostras do embasamento apresentam uma tendência evolutiva razoavelmente bem definida entre elas e marcada pelo decréscimo de MgO, TiO_2 , CaO, P_2O_5 , FeOt e crescimento de K_2O , Na_2O e Al_2O_3 com o aumento de SiO_2 . As amostras da ISn com alcalinidade média (traquito e álcali sienitos) posicionam-se sempre entre os sienitos com feldspatóide e o embasamento, o que pode indicar contaminação do embasamento.

VII.2.3. Norma CIPW

A composição normativa é um cálculo que permite determinar, a partir da composição química de rocha, a mineralogia ideal formada em condições de cristalização em equilíbrio previamente estabelecida. Nesse estudo utilizou-se a Norma CIPW (Cross *et al.* 1903), mantendo-se constante a razão $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ igual a 0,85 em base anídrica.

As amostras sub-saturadas (Tab. 34) têm como minerais normativos: albita, ortoclásio, nefelina, coríndon, olivina, ilmenita, magnetita, apatita e calcita. Ocorrendo esporadicamente anortita, diopsídio e hematita.

A presença de rochas com até 23,16% de nefelina normativa revela o caráter fortemente sub-saturado em óxido de silício. Esse elevado valor da nefelina e a sua modesta abundância na moda é interpretado como expressando a presença de sodalita. Isso pode ser confirmado pois no sodalitito, onde não existe nefelina modal, o conteúdo de nefelina normativa é 67,46% e ainda ocorre a formação de leucita e noseana.

Os minerais máficos modais (annita, hornblenda) se expressam na forma de magnetita, diopsídio, olivina, ilmenita.

Tabela 34. Composições normativas para as fácies estudadas. Onde ID (albita+quartzo+ortoclásio+nefelina+leucita+noseana)/peso total da norma) corresponde ao índice de diferenciação.

Amostra	2172	2173	2174	2176	2178	2195	2196	2197	2198	2175	2199	2200	2201	2202	2203
Fácies	Annita Foid/Sienito										Foid/Sienito				
Quartzo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coríndon	2,53	5,28	0,00	2,58	2,41	2,82	4,33	2,86	1,92	2,74	3,09	2,98	0,00	2,58	2,78
Ortoclásio	40,19	46,69	40,78	43,14	47,28	41,96	45,51	41,96	44,91	44,32	38,41	36,64	30,73	33,69	39,60
Albita	29,10	16,98	1,43	24,71	21,05	28,02	29,14	25,75	22,54	18,17	35,89	34,78	23,72	40,23	41,58
Anortita	0,00	0,00	8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	8,21	0,00	0,00
Leucita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nefelina	17,70	5,47	23,06	18,70	17,93	13,24	12,17	17,68	21,71	23,16	8,06	14,62	16,03	17,63	12,77
Acmita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Noseana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diopsídio	0,00	0,00	4,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,55	0,00	0,00
Wollastonita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hiperstênio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Olivina	0,97	8,05	8,02	5,64	2,12	3,14	1,86	1,86	0,18	4,79	3,02	2,65	7,67	2,29	0,18
Magnetita	2,90	12,47	7,25	1,00	2,90	4,21	3,34	4,06	3,23	0,99	3,92	3,05	3,77	1,45	0,50
Ilmenita	0,25	1,46	1,10	0,34	0,29	0,57	0,42	0,40	0,21	0,36	0,93	0,55	1,20	0,10	0,06
Hematita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86
Apatita	0,02	0,00	0,69	0,23	0,00	0,19	0,09	0,19	0,03	0,12	0,31	0,15	0,57	0,05	0,06
Calcita	1,30	0,23	1,14	2,27	1,37	4,64	2,41	3,57	1,82	3,45	4,51	1,99	3,34	0,63	0,30
Total	94,95	96,64	96,20	98,62	95,36	98,77	99,26	98,32	98,13	98,09	98,14	97,41	100,78	98,64	98,67
I.D	91,61	71,54	67,85	87,76	90,46	84,25	87,47	86,84	90,87	87,32	83,92	88,33	69,94	92,80	95,21

Continuação da tabela 34.

Amostra	2204	2225	2206	2179	2205	2207	2208	2210	2215	2216	Sod_2.
Fácies	Álali Sienito	Fenito	Embasamento								Traquito
Quartzo	7,93	1,21	0,91	30,60	36,38	4,85	18,17	21,50	31,03	3,87	0,00
Coríndon	2,72	0,00	0,00	2,66	3,01	0,00	0,00	0,74	1,01	0,00	0,00
Ortoclássio	34,87	24,23	11,82	17,14	16,55	3,55	4,37	33,09	28,37	13,00	3,39
Albita	49,08	38,08	4,65	27,08	31,31	20,31	21,15	33,00	28,77	26,23	0,00
Anortita	0,70	14,62	5,81	10,73	7,57	22,93	28,07	4,33	4,90	24,34	0,00
Leucita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00
Nefelina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,46
Acmita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90
Noseana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,70
Diopsídio	0,00	1,35	64,02	0,00	0,00	15,68	4,16	0,00	0,00	5,07	0,10
Wollastonita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
Hiperstênio	0,25	12,31	10,38	4,65	0,19	13,62	17,61	4,95	2,21	14,11	0,00
Olivina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Magnetita	0,91	3,19	1,41	3,63	2,86	9,86	3,19	1,17	1,74	4,93	0,00
Ilmenita	0,19	2,28	0,13	1,14	0,51	6,08	1,33	0,32	0,61	4,56	0,00
Hematita	2,08	0,00	0,00	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Apatita	0,10	1,11	0,09	0,26	0,12	1,35	0,33	0,07	0,20	1,30	0,00
Calcita	1,11	0,91	0,68	1,59	0,91	1,62	0,80	0,34	0,00	1,14	0,00
Total	99,93	99,29	99,90	99,48	99,93	99,84	99,18	99,51	98,84	98,54	94,77
I.D	91,95	63,97	17,4	75,21	84,3	28,75	44,06	88,03	89,2	43,74	98,71

O coríndon normativo nessas rochas (1,92%-5,28%) reflete provavelmente os conteúdos de Al_2O_3 presentes na annita, hornblenda e feldspatóides tardios (e.g. cancrinita, analcima, sodalita). A presença do coríndon normativo indica caráter peraluminoso que em rochas sub-saturadas em SiO_2 é relativamente comum, principalmente em suítes alcalinas miasquíticas (Sorosen 1974).

O Índice de Diferenciação Normativo das rochas estudadas variam de 67,85 até 95,21%. O traquito apresenta índice de diferenciação de 43,74%.

As fácies Fenito e Embasamento apresentam uma composição normativa geral de rochas saturadas em SiO_2 , contendo quartzo, andesina, albita, ortoclásio, diopsídio, hiperstênio, ilmenita, magnetita, hematita, apatita e calcita.

VII.3 ELEMENTOS MENORES E TRAÇOS

Alguns elementos traços apresentaram concentrações elevadas nas rochas sub-saturadas em estudo (Tab. 35), como o caso do Ba (até 1564 ppm), Sr (até 1776 ppm) e Zr (até 4202 ppm). Vários dos elementos traços tinham conteúdos em algumas amostras abaixo do limite de detecção em ppm do método utilizado, sendo eles: <2 ppm para Ni; < 8 ppm para Hf, V; < 5 ppm para Cs, Ta, Th, Mo, Sn e Pb; e < 10 ppm para U, W, V e Sc.

VII.3.1. Diagramas Tipo Harker

Os diagramas com elementos menores e traços (Fig. 40) correlacionados ao óxido de silício não mostram variações evolucionais evidentes, revelando, provavelmente, a complexidade do processo de evolução deste magma fonolítico. Percebe-se, entretanto, que existe importante variação no conteúdo de Ba, Rb, Sr, La e Ce para as amostras com percentuais de SiO_2 compreendidos entre 50 e 55.

Tabela 35. Análises química para os elementos menores a traços das rochas estudadas expresso em ppm.

Amosta	2172	2173	2174	2176	2178	2195	2196	2197	2198	2175	2199	2200	2216
Fácies	Annita Foid Sienito									Foid Sienito			Traquito
Ba	82,0	31,0	81,0	84,0	102,0	554,0	432,0	217,0	116,0	59,0	1564,0	932,0	885,0
Rb	205,0	357,0	287,0	222,0	263,0	165,0	162,0	184,0	181,0	244,0	120,0	202,0	47,0
Sr	906,0	378,0	719,0	1009,0	814,0	1776,0	1488,0	987,0	842,0	1118,0	1493,0	1132,0	446,0
Zr	391,0	4202,0	68,0	136,0	203,0	219,0	117,0	49,0	50,0	126,0	146,0	139,0	339,0
Nb	78,0	379,0	290,0	130,0	140,0	118,0	84,0	127,0	68,0	126,0	126,0	171,0	56,0
La	-	-	-	59,5	-	-	-	-	50,7	59,9	14,5	59,7	-
Ce	-	-	-	94,4	-	-	-	-	92,9	78,4	19,0	111,3	-
Pr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd	-	-	-	19,8	-	-	-	-	26,6	16,8	5,8	31,9	-
Sm	-	-	-	3,0	-	-	-	-	4,5	2,3	0,9	5,4	-
Eu	-	-	-	1,0	-	-	-	-	0,9	0,8	0,2	1,1	-
Gd	-	-	-	1,8	-	-	-	-	2,8	1,4	0,6	3,4	-
Tb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy	-	-	-	0,8	-	-	-	-	1,5	0,6	0,3	1,8	-
Ho	-	-	-	0,1	-	-	-	-	0,2	0,1	0,0	0,3	-
Er	-	-	-	0,2	-	-	-	-	0,5	0,1	0,1	0,6	-
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	-	-	-	0,2	-	-	-	-	0,3	0,2	0,1	0,4	-
Lu	-	-	-	0,0	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Ni	<2,0	<2,0	<2,0	2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Co	3,0	10,0	7,0	2,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,0	3,0	5,0	4,0	28,0
Cr	8,0	4,0	7,0	12,0	4,0	6,0	4,0	7,0	8,0	14,0	8,0	6,0	14,0
Y	14,0	32,0	32,0	18,0	11,0	21,0	18,0	18,0	11,0	27,0	24,0	23,0	43,0
Cs	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Ta	<5,0	12,0	21,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	11,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Hf	11,0	102,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	10,0
Ga	24,0	35,0	25,0	22,0	28,0	17,0	16,0	17,0	18,0	21,0	18,0	24,0	28,0
Sn	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	7,0
Th	<5,0	45,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	13,0
U	<10,0	15,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
V	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	203,0
W	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Cu	6,0	6,0	8,0	6,0	6,0	8,0	7,0	8,0	18,0	5,0	6,0	6,0	25,0
Mo	<5,0	<5,0	<5,0	5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Pb	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Sc	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	15,0

Continuação da tabela 35.

Amostra	2201	2202	2203	2204	2225	2206	2179	2205	2207	2208	2210	2215	Sod_2
Fácies	<i>Foid</i> Sienito Porfírico			Alcali Sienito		Fenito	Embasamento						Sodalita
Ba	1126,0	<10	183,0	180,0	1570,0	1743,0	808,0	683,0	417,0	357,0	180,0	744,0	42,0
Rb	118,0	144,0	157,0	194,0	78,0	35,0	67,0	52,0	<5,0	<5,0	187,0	120,0	60,0
Sr	1016,0	268,0	230,0	84,0	605,0	142,0	282,0	230,0	224,0	280,0	50,0	311,0	97,0
Zr	266,0	260,0	35,0	213,0	323,0	29,0	180,0	156,0	187,0	96,0	498,0	341,0	9,0
Nb	120,0	163,0	151,0	165,0	109,0	6,0	<5,0	21,0	14,0	<5,0	158,0	73,0	45,0
La	73,9	82,1	-	-	68,8	8,4	-	-	-	-	94,4	28,2	6,2
Ce	124,0	178,2	-	-	129,8	6,7	-	-	-	-	180,6	46,4	9,9
Pr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nd	30,6	34,2	-	-	37,1	2,3	-	-	-	-	51,2	11,9	1,8
Sm	4,8	5,2	-	-	6,3	0,3	-	-	-	-	9,8	2,3	0,2
Eu	1,1	1,1	-	-	1,2	0,1	-	-	-	-	0,5	0,4	-
Gd	3,0	2,8	-	-	3,9	0,2	-	-	-	-	6,7	1,6	0,1
Tb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dy	1,6	0,3	-	-	2,1	0,1	-	-	-	-	4,7	0,8	0,1
Ho	0,2	0,0	-	-	0,3	0,0	-	-	-	-	0,8	0,1	0,0
Er	0,5	0,2	-	-	0,7	0,1	-	-	-	-	1,8	0,1	0,0
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	0,4	0,2	-	-	0,4	0,0	-	-	-	-	1,2	0,1	0,0
Lu	0,1	0,0	-	-	0,1	0,0	-	-	-	-	0,2	0,0	0,0
Ni	30,0	5,0	<2,0	<2,0	9,0	10,0	11,0	10,0	36,0	13,0	2,0	4,0	-
Co	24,0	2,0	2,0	3,0	11,0	7,0	11,0	7,0	37,0	24,0	4,0	3,0	-
Cr	129,0	13,0	6,0	4,0	22,0	24,0	36,0	23,0	89,0	107,0	12,0	12,0	-
Y	25,0	16,0	4,0	31,0	43,0	10,0	21,0	23,0	36,0	16,0	67,0	27,0	12,0
Cs	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	-
Ta	<5,0	5,0	18,0	12,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Hf	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	<8,0	13,0	8,0	<8,0
Ga	18,0	26,0	30,0	28,0	24,0	5,0	24,0	26,0	20,0	27,0	29,0	19,0	12,0
Sn	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	13,0	14,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Th	9,0	16,0	<5,0	15,0	10,0	12,0	<5,0	<5,0	7,0	<5,0	47,0	18,0	<5,0
U	<10,0	18,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<5,0
V	62,0	<8,0	<8,0	13,0	62,0	<8,0	52,0	28,0	408,0	133,0	<8,0	<8,0	<8,0
W	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0
Cu	24,0	6,0	5,0	11,0	18,0	6,0	23,0	26,0	75,0	29,0	7,0	12,0	-
Mo	5,0	6,0	<5,0	<5,0	5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	5,0	<5,0	<5,0
Pb	<5,0	<5,0	<5,0	10,0	<5,0	<5,0	16,0	5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Sc	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	<10,0	14,0	<10,0	25,0	13,0	<10,0	<10,0	<10,0

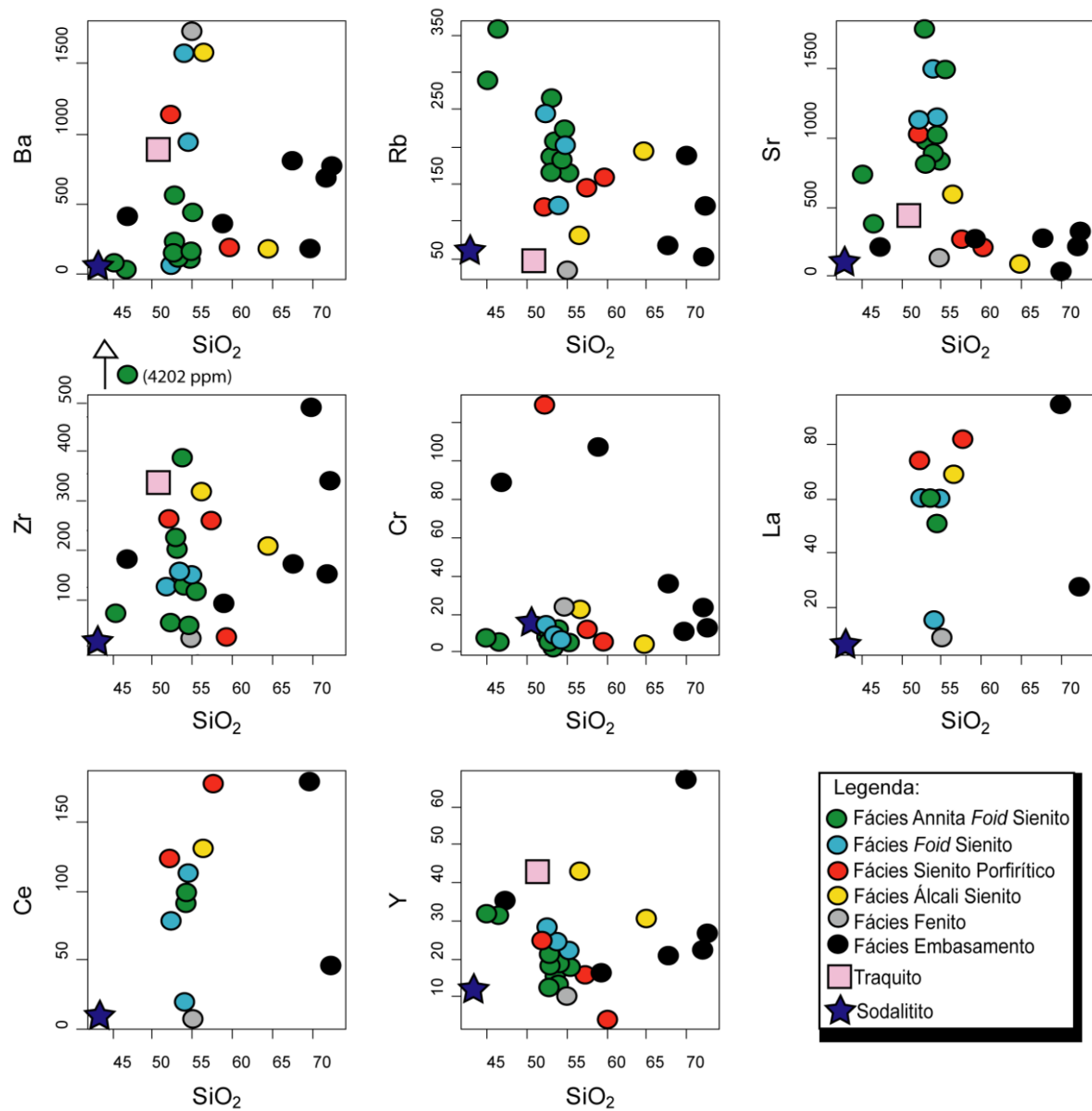


Figura 40. Diagramas do tipo Harker para os elementos menores e traços aplicados as rochas da do CAFA.

Os conteúdos de Cr (<14 ppm), Ni (<2 ppm), V (<8 ppm) e Sc (<10 ppm) refletem o forte grau de fracionamento do magma formador destes sienitos.

Existe boa correlação linear entre Ce e o La que pode ser interpretada como caráter cogenético das amostras estudadas. Todavia, percebe-se que as amostras que resultaram de forte interação com fluido(s), por exemplo o fenito (2206) e o sodalitito (Sod) apresentam igualmente baixos conteúdos nesses ETR. Esses valores podem indicar que nas etapas finais da evolução deste magma os fluidos não foram capazes de transportar os ETR.

A amostra 2173 apresenta um conteúdo bastante elevado em Zr (4202 ppm) em relação as demais rochas, reflete provavelmente os altos conteúdos de minerais de zircônio (baddeleyíta, zircão e zirconolita).

As amostras 2173 e 2174 que apresentam valores elevados de annita que podem explicar as mais elevadas concentrações de Rb da intrusão estudada.

As amostras com alcalinidade média (traquito e álcali-sienitos) posicionam-se entre os sienitos com feldspatóide e o embasamento, embora não seja de forma tão bem definida como para os elementos maiores. Esse fato pode indicar que houve contaminação das encaixantes.

VII.3.2. Espectros dos ETR

Uma característica comum das rochas estudadas (Fig. 41) é o enriquecimento em ETR leves em relação aos ETR pesados. A anomalia de Eu não ocorre de maneira marcante nessas rochas, estando bem pronunciada nas rochas do embasamento. Esse fato sugere que o grau de contaminação pelas rochas encaixantes na evolução destes sienitos tenha sido modesta.

A anomalia suave em Eu presente nessas rochas pode ser atribuída a condições oxidantes o que impediria que o Eu fosse incorporado aos feldspatos.

A Fácies Fenito e o sodalitito apresentaram os menores conteúdos em ETR dentre as amostras estudadas, revelando provavelmente a incompatibilidade dos ETR com os fluidos tardios ricos em cloreto presente nessa evolução magmática.

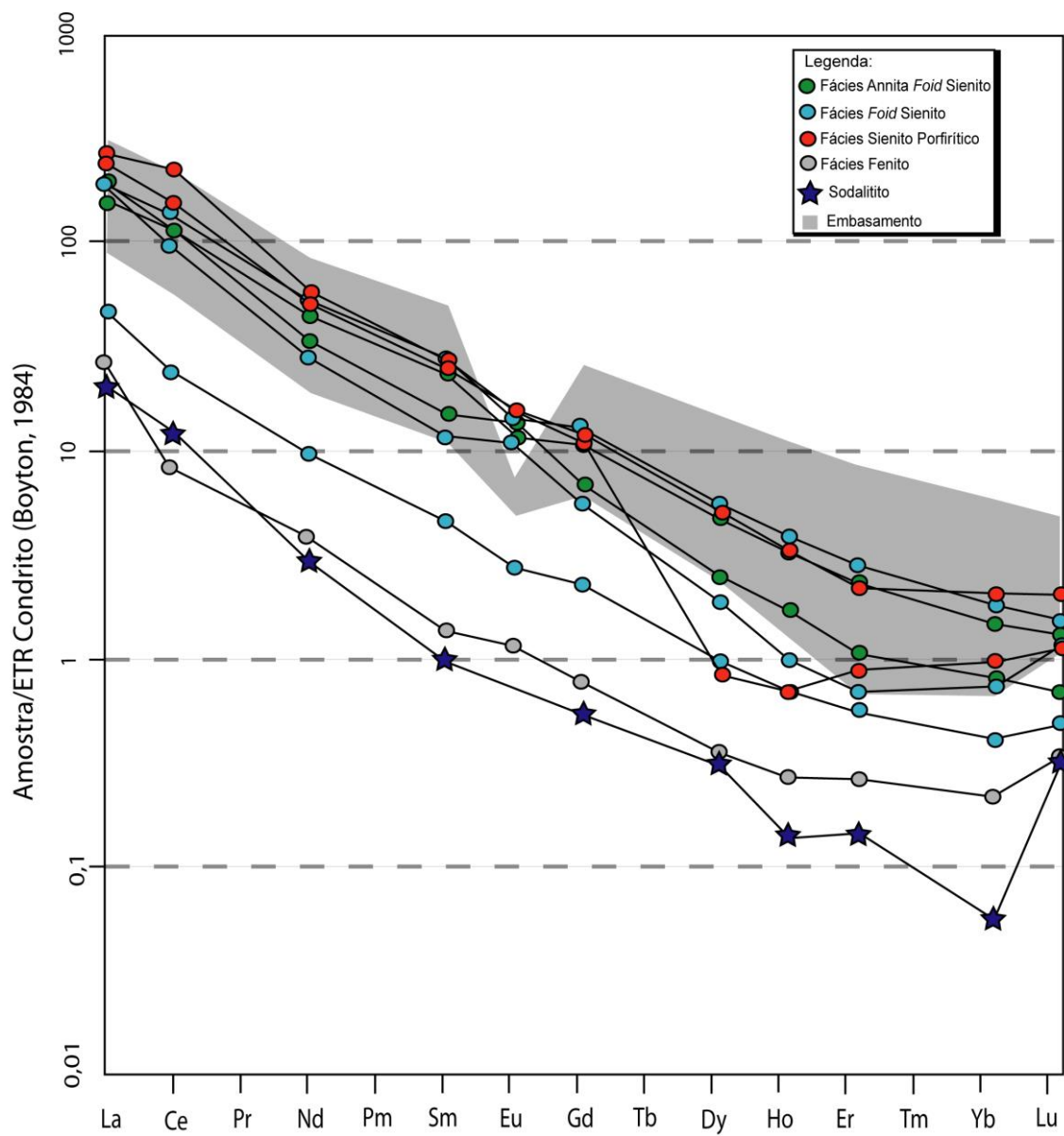


Figura 41. Diagrama com os espectros dos Elementos Terras Raras normalizado pelo condrito de Boyton (1984).

VII. 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOQUÍMICA

As características geoquímicas das rochas estudadas ressaltam seu caráter alcalino sub-saturado em SiO_2 . Essas rochas são predominantemente metaluminosas a peraluminosas. A reunião destas informações confirmam o caráter miasquítico das rochas da Intrusão Sienítica do CAFA.

Teve-se grande dificuldade em encontrar se identificar uma tendência evolutiva geoquímica para o conjunto das rochas da Intrusão Sienítica do CAFA. Isso pode ser reflexo da atuação de processos envolvendo a presença de fluidos, como demonstrados no estudo petrográfico. Comportamento similar foi atribuído por Conceição *et al.* (2009) para os sienitos da Facies Serra do Felíssimo no Batólito Itarantim.

Nos diagramas com os elementos maiores percebeu-se que as rochas saturadas em óxido de silício posicionavam sempre entre os sienitos sub-saturados em SiO_2 e as rochas do embasamento. Este fato foi interpretado como resultante de assimilação. Todavia, não ficou evidente a existência dessa contaminação quando se analisou a evolução dos elementos traços.

Identificou-se que os termos mais evoluídos (sodalíticos) ou que resultem de metassomatismo, como é o caso do fenito do embasamento, os conteúdos de ETR são os mais baixos entre as amostras estudadas. Ainda nesse contexto percebe-se que em todas as rochas da Intrusão Sienítica do Complexo Alcalino Foresta Azul, as amostras embora com volumes importantes de feldspatos não apresentam importante anomalia positiva ou negativa em Eu. Esse fato foi interpretado como devido a alta fugacidade de oxigênio apresentada durante a evolução deste magma.

VIII. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as discussões apresentadas nos capítulos anteriores, passa-se a lista-las abaixo.

- O estudo petrográfico permitiu identificar a mineralogia das rochas e nomeá-las convenientemente segundo a IUGS.
- A presença de fenito no embasamento e a ocorrência de sienitos contendo quartzo na periferia da ISn sugerem: alta pressão de fluidos quando da intrusão e alguma assimilação de encaixantes.
- A sodalita na ISn ocorre como produto da cristalização direta do magma (cristais intersticiais) ou por ação de metassomatismo (em veios e coroando nefelina).
- As texturas observadas em cristais de sodalita e carbonato indicam que houve inicialmente contribuição de fluidos ricos em CO_2 e, posteriormente, rico em cloreto.
- Como ocorre em outros corpos da PASEBA, as feições encontradas na ISn do CAFA indicam que a evolução deste magma fonolítico ocorreu em sistema fechado.
- As composições monótonas identificadas em vários minerais essenciais, como por exemplo feldspatos, nefelina e annita, são interpretadas como produto de reequilíbrio, provavelmente quando da ação de fluidos. Os dados de temperatura obtidos em minerais suportam essa hipótese.
- Identificou-se com EDS-MEV pela primeira vez na ISn do CAFA vários minerais que embora sejam usuais em rochas alcalinas subssaturadas não tinham ainda sido descritos na PASEBA. Eles são: ancilita, estroncianita, pirocloro, monazita, baddeleyíta, zirconolita, torianita, hidroxifluoretos. A presença de vários destes minerais consituem um alerta para prospectores sobre as potencialidades da PASEBA em particular no CAFA para Nb e ETR.
- A identificação de minerais com o EDS-MEV possibilitou melhor compreender a sequência de cristalização dos sienitos estudados, por exemplo: [1] o pirocloro forma-se em dois momentos, precoce (euédricos inclusos em microclínio) e tardio (cristais concentrados em fraturas); [2] a baddeleyíta foi o primeiro mineral de zircônio a se

formar, sendo associado ao pirocloro magmático e torianita e por vezes apresentando o sobrecrecimento de zircão em suas bordas; [3] a torianita foi formada precocemente no estágio magmático, onde foi incluída por vários minerais; [4] a ancilita foi observada em duas variedades (ancilita-Ce e ancilita-La), sendo a sua origem relacionada a recristalização da calcita; [5] a monazita foi o mineral contendo ETR que apresentou os maiores volumes que chegam a mais de 70%, a sua ocorrência foi marcada pela associação com apatita e ancilita; [6] a zirconolita foi identificada apenas na fácies Fenito, sendo formada nas condições metassomáticas a que o foi submetido durante a colocação da ISn; [7] os hidroxifluoretos ocorreram preenchendo fraturas e associados com ancilita e apatita; [8] a estroncionita ocorreu em associação com a calcita e também observada na associação da apatita, ancilita e monazita.

- Em diagramas geoquímicos as rochas da ISn posicionam-se no campo dos sienitos miasquíticos e o sodalitito no campo agpaítico. Algumas amostras exibem alcalinidade média.
- Em diagramas Harker, as rochas estudadas mostram-se com baixos conteúdos em TiO_2 , MgO , CaO , P_2O_5 e maiores volumes em Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , FeO_t e CO_2 refletindo forte grau de fracionamento.
- Nos espectros dos ETR dos sienitos observa-se a ausência de significativa anomalia em Eu o que pode refletir as condições oxidantes.
- A Intrusão Sienítica do Complexo Alcalino Floresta Azul apresenta evolução petrológica complexa envolvendo particularmente nas etapas finais de sua formação a ação de fluidos alcalinos e salinos capazes de formar importante volume de sodalita, como o que ocorre na região central deste corpo, e promover grande parte da cristalização de minerais acessórios diminutos de ETR, Nb e Zr.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alderton D.H.M., Pearce J.A., Potts P.J. 1980. Rare earth element mobility during granite alteration: evidence from south-west England. *Earth and Planetary Science Letters*, **49**(1):149-65.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geologia*, **7**(4):349-364.
- Amelin Y, Li C, Naldrett A.J. 1999. Geochronology of the Voisey's Bay intrusion, Labrador, Canada, by precision U-Pb dating of coexisting baddeleyite, zircon, and apatite. *Lithos*, **47**(1):33-51.
- Ames D.E. & Farrow C.E.G. (eds.). 2007. Metallogeny of the Sudbury mining camp, Ontario. In: Goodfellow W.D. (eds.). *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of the Geological Provinces, and Exploration Methods*. St. John's, Geological Mineral Deposits Division, Association of Canada, Special Publication, 5, 329-350.
- Andrade M.B. 2007. Estudo Cristaloquímico de Minerais do Gupo do Pirocloro no Brasil. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 207p.
- Bailey D.K. 1989. Carbonate melt from the mantle in the volcanoes of south-east Zambia. *Nature*, **338**:415-418.
- Barbosa J.S.F. 1990. The granulites of the Jequié complex and Atlantic mobile belt, southern Bahia, Brazil – An expression of Archean-Proterozoic plate convergence. In: Vielzeuf D. & Vidal P.H. (eds.). *Granulites and crustal evolution*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, Springer, p.195-221.
- Barbosa J.F.S. & Dominguez J.M. 1996. *Mapa Geológico do Estado da Bahia. Escala 1:1000.000*. Texto explicativo. Salvador, Secretaria de Industria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia, convênio SGM/PPPG/FAPEX/CPGG. 402p.
- Barbosa J.S.F., Mascarenhas S.J.F., Correa Gomes L.C., Dominguez J.M.L., Souza J.S. (eds.). 2012. Salvador, Geologia da Bahia: pesquisa e atualização. Salvador, Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, 1200 p.
- Bayliss P., Mazzi F., Munno R., White T.J. 1989. Mineral nomenclature: zirconolite. *Mineral Magazine*, **53**:565-569.
- Bellatreccia F., Della Ventura G., Williams T.C., Parodi G.C. 1998. Baddeleyite from the Vico Volcanic complex, Latium Italy. *Rendiconti Lincei*, **9**(1):27-33.
- Bellatreccia F., Della Ventura D.G., Caprilli E., Williams C.T., Parodi G.C. 1999. Crystal-chemistry of zirconolite and calzirite from Jacupiranga, São Paulo (Brazil). *Mineral. Magazine*, **63**:649-660.
- Boyton W.R. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements meteorites studies. In: Henserson P. (eds) *Rare Earth Elements Geochemistry*, 2, Amsterdam, Elsevier, p. 63-114.
- Burtseva M.V., Ripp G.S., Doroshkevich A.G., Viladkar S.G., Varadan R. 2013 Features of mineral and chemical composition of the Khamambettu carbonatites, Tamil Nadu. *Journal Geological Society of India*, **81**(5):655-664.
- Cabral E.B. Química mineral do Stock Foidolítico Itajú do Colônia, Sul da Bahia. 2008. Undergraduate Thesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal Bahia, Salvador, 61 p.

Cabral E.B. Petrologia do Stock Nefelina Sienítico Itajú do Colônia, Sul da Bahia. 2013. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 80 p.

Chakhmouradian A.R. & Mitchell R.H. 2002. The mineralogy of Ba-and Zr-rich alkaline pegmatites from Gordon Butte, Crazy Mountains (Montana, USA): comparisons between potassic and sodic agpaitic pegmatites. Contribution. *Mineral Petrology*, **143**(1):93-114.

Clarke R.S.J. & Wosinski J.F. 1967. Baddeleyite inclusion in the Martha's Vineyard tektite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**(3):397-406.

Conceição H., Arcanjo J.B.A., Oliveira J.E. 1992. Província Alcalina do Sul da Bahia: reflexões sobre o estado do conhecimento. In: 38º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, v. 2, p. 84-85.

Conceição H., Rosa M.L.S., Moura C.A., Macambira M.J.B., Galarza M.A., Rios D.C., Marinho M.M., Menezes R.C.L., Cunha M.P. (2009). Petrology of the Neoproterozoic Itarantim nepheline syenite batholith, São Francisco Craton, Bahia, Brazil. *The Canadian Mineralogist*, **47**(6):1527-1550.

Cordani U.G., Bernat M., Teixeira W., Kawashita H. 1974. Idades radiométricas das rochas alcalinas do Sul do Estado da Bahia. In: 27º Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, *Anais*, v. 6, p.253-259.

Corrêa Gomes L.C., Tanner de Oliveira M.A.F., Motta A.C., Cruz M.J.M. (eds.) 1996. Províncias dos diques máficos do Estado da Bahia. Mapa, evolução temporal e estágio atual do conhecimento. Salvador, SICM/SGM/PPPG/ UFBA, 144 p.

Correa Gomes L.C. 2000. Evolução dinâmica da Zona de Cisalhamento Neoproterozoica de Itabuna-Itajú do Colônia e do magmatismo fissural alcalino associado (SSE do Estado da Bahia, Brasil). PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 201 p.

Craig J.R., Vokes F.M., Solberg N. 1998. Pyrite: Physical and chemical textures. *Mineralium Deposita*, **34**(1):82-101.

Cross W., Iddings J.P., Pirsson L.V., Washington H.S. 1903. *Quantitative classification of igneous rocks*. Chicago, University of Chicago, p. 188.

Cruz Filho B.E., Conceição H., Rios D.C., Rosa M.L.S., Marinho M.M. 2003. Geologia, Petrografia e Litogeoquímica do Batólito Trondhjemitico Nordestina, Núcleo Serrinha, Nordeste da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(2):175-186.

Currie K.L. 1976. The alkaline rocks of Canada. Geological Survey Canada Bulletin, 239, p. 228

Dal Negro A., Rossi G., Tazzoli V. 1975. The crystal structure of ancylite $(M)_2(CO_3)_2(OH)_x(2-x)H_2O$. *American Mineralogist*, **60**(3-4): 280-284.

Dana J.D. & Hulbut C.J.R. 1978. *Manual de Mineralogia*. Franco R.B. (eds). Tradução para o português. Rio de Janeiro, Livros técnicos e científicos editora, 2, 643 p.

De Hoog J.C.M. & Van Bergen M.J. 1997. Notes on the chemical composition of zirconolite with thorutite inclusions from Walaweduwa, Sri Lanka. *Mineralogical Magazine*, **61**(408):721-725.

Dedavid B.A., Gomes C.I., Machado G. 2007. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*. Porto Alegre, EdIPUCRS, 60 p.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1966. (eds). *Minerais Constituintes das Rochas: Uma Introdução*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 358 p.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992 (eds). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. London, Longman, 2, 696 p.

Della Ventura D.G., Bellatreccia F., Williams C.T. 2000. Zirconolite with significant REEZrNb(Mn,Fe)O₇ from a xenolith of the Laacher See eruptive center, Eifel Volcanic Region, Germany. *The Canadian Mineralogist*, **38**:(1)57–65.

Dunstan W.R. & Blake G.S. 1905. Thorianite, a new mineral from Ceylon. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, *Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, **76**(510):253-265.

El Goresy A. 1965. Baddeleyite and its significance in impact glasses. *Journal of Geophysical Research*, **70**(14):3453-3456.

Elkins L.T. & Grove T.L. 1990. Ternary feldspar experiments and thermodynamic models. *American Mineralogist*, **75**(5-6):544-559.

Figueiredo M.C.H. 1989. Geochemical evolution of eastern Bahia, Brazil: a probable Early Proterozoic subduction related magmatic arc. *Journal of South American Earth Sciences*, **2**(2):131-145.

Finch A.A. 1991. Conversion of nepheline to sodalite during subsolidus processes in alkaline rocks. *Mineralogical Magazine*, **55**(380):459-464.

Fleischer M.W. & Altschuler Z.S. 1969. The relationship of the rare-earth composition of minerals to geologic environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **33**(6):725-732.

Fujimori S. 1967. Rochas Alcalinas do Sul do Estado da Bahia. Notas preliminares e estudos da divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM, Rio de Janeiro, 14 p.

Gieré R. 1986. Zirconolite, allanite and hoegbomite in a marble skarn from the Bergell contact aureole: implications for mobility of Ti, Zr and REE. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **93**(4):459-470.

Gieré R., Lumpkin G.R., Williams C.T. 1998. Chemical characteristics of natural zirconolite. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, **78**(3):433-459.

Gieré R. 1990. Hydrothermal mobility of Ti, Zr and REE: examples from the Bergell and Adamello contact aureoles (Italy). *Terra Nova*, **2**(1):60-67.

Gieré R., Williams C.T. 1992. REE-bearing minerals in a Ti-rich vein from the Adamello contact aureole (Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **112**(1):83-100.

Gillot B., El Guendouzi M., Tailhades P., Rousset A. 1986. Oxidation mechanism of manganese-substituted magnetite. *Reactivity of Solids*, **1**(2):139-152.

- Gittins J. 1989. The origin and evolution of carbonatite magmas. In: K. Bell (eds). *Carbonatites. Genesis and Evolution*. Unwin Hyman, London, pp. 580-600.
- Haifler J. & Škoda R. Chemical characterisation and XRD study of zirconolite from Håkestad alkaline pegmatite, Larvik Plutonic Complex, south Norway. In: 5th Mineral Sciences in the Carpathians Conference and 3rd Central-European Mineralogical Conference, Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Serie, v 7, p. 51.
- Halama R., Vennemann T., Siebel W., Markl G. 2005. The Gronnedal–Ika carbonatite–syenite complex, South Greenland: carbonatite formation by liquid immiscibility. *Journal of Petrology*, **46**(1):191-217
- Hamilton D.L. & Mackenzie W.S. 1965. Phase equilibrium studies in the system NaAlSiO₄ (nepheline)–KAlSiO₄ (kalsilite)–SiO₂–H₂O Mineralogist Magazine, **34**(1):214-231.
- Hanchar J.M., Miller C.F., Wooden J.L., Bennett V.C., Staude J.M.G. 1994. Evidence from xenoliths for a dynamic lower crust, eastern Mojave desert, California. *Journal of Petrology*, **35**(5):1377-1415.
- Harker A. 1909. The natural history of the igneous rocks Methneu. London. 344 p.
- Harley S.L. 1994. Mg-Al yttrian zirconolite in a partially melted sapphirine granulite, Vestfold Hills, East Antarctica. *Mineralogical Magazine*, **58**:259-269.
- Harrison T.M. & Watson E.B. 1984. The behaviour of apatite during crustal anatexis: equilibrium and kinetics consideration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**(7):1467-1477.
- Harrison T.M., McKeegan K.D., LeFort P. 1995. Detection of inherited monazite in the Manaslu leucogranite by ²⁰⁸Pb/²³²Th ion microprobe dating: Crystallisation age and tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, **133**(3):271-282
- Heaman L.M. & LeCheminant A.N. 1993. Paragenesis and U–Pb systematics of baddeleyite (ZrO₂). *Chemical Geology*, **110**(1):95-126
- Hogarth D.D. 1977. Classification and nomenclature of the pyrochlore group. *American Mineralogist*, **62**(5-6):403-410.
- Hornig I. & Wörner G. 1991. Zirconolite-bearing ultra-potassic veins in a mantle xenolith from Mt. Melbourne Volcanic Field, Victoria Land, Antarctica. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **106**(3):355-366
- Irvine T. & Baragar W. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian journal of earth sciences*, **8**(5):523-548.
- Irving A.J., Kuehner S.M., Ziegler K., Conrey R.M., Korotev R.L., Huber L., Riebe M., Wieler R., Nishiizumi K., Caffee M.W., Moser D.E., Barker I., Chaoui R. 2014. An Enigmatic Sodic Ferrogabbroic Achondrite from Morocco Containing Zirconolite, Baddeleyite, Fluorapatite and Copper Sulfides. In: 45th Lunar and Planetary Institute Science Conference. The Woodlands, Texas, Abstracts, v 45, p. 2418-19.
- Janasi V.A., Freitas V.A., Heaman L.H. 2011. The onset of flood basalt volcanism, northern Paraná Basin, Brazil: a precise U–Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters*, **302**(1):147-153

- Janoušek V., Farrow C.M., Erban V. 2006. Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDKit). *Journal of Petrology*, **47**(6):1255-1259.
- Johan V. & Johan Z. 1994. Accessory minerals of the Cinovec (Zinnwald) granite cupola, Czech Republic, Part 1: Nb-, Ta- and Ti-bearing oxides. *Mineralogical Petrology*, **51**(1-2):323-343.
- Kato A. & Matsubara S. 1991. Geikielite, baddeleyite and zirconolite in dolomitic marble from the Neichi mine, Miyako City, Iwate Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Science Museum. Series*, **17**(1):11-20.
- Kapustin Yu L. 1966. Accessory thorouraninite from nepheline syenites of Tuva. *Atomic Energy*, **20**(6): 579-582.
- Kerschhofer L., Schärer U., Deutsch A. 2000. Evidence for crystals from the lower mantle: baddeleyite megacrysts of the Mbuji Mayi kimberlite. *Earth and Planetary Science Letters*, **179**(2):219-225.
- Kim S.J., Lee H.K., Yin J.W., Park J.K. 2005: Chemistry and origin of monazites from carbonatite dikes in the Hongcheon-Jaeun district, Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, **25**(1):57-67.
- Korobeinikov A.N., Mitrofanov F.P., Gehör S., Laajoki K., Pavlov V.P., Mamontov V.P. 1998. Geology and copper sulphide mineralization of the Salmagorskii ring igneous complex, Kola Peninsula, NW Russia. *Journal of Petrology*, **39**(11-12):2033-2041.
- Kresten P. 1973. The coating of kimberlitic zircons: a preliminary study. In: P.H. Nixon (eds). *Lesotho Kimberlites*. Lesotho National Development Corp., Maseru, Lesotho, p. 220-223.
- Krüner A., Byerly G.R., Lowe D.R. 1991. Chronology of early Archaean granite-greenstone evolution in the Barberton Mountain Land, South Africa, based on precise dating by single zircon evaporation. *Earth and Planetary Science Letters*, **103**(1): 41-54.
- Le Bas M.J. 1981. Carbonatite magmas. *Mineralogical Magazine*, **44**(334):133-140.
- Le Maitre R.W., Bateman P., Dudek A., Keller J., Lameyre J., Le Bas M.J., Sabine P.A., Shimid R., Sorensen H., Streckeisen A., Wolley R., Zanettin B. 1989. *A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendation of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, 193p.
- Lepage L.D. 2003. ILMAT: na Excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry. *Computers & Geosciences*, **29**(5):673-678.
- Li Z.X., Wartho J.A., Occhipinti S., Zhang C.L., Li X.H., Wang J., Bao C.M. 2007. Early history of the eastern Sibao Orogen (South China) during the assembly of Rodinia: new mica $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and SHRIMP U-Pb detrital zircon provenance constraints. *Precambrian Research*, **159**(1):79-94.
- Liew T.C. & McCulloch M.T. 1985. Genesis of granitoid batholiths of Peninsular Malaysia and implications for models of crustal evolution: Evidence from a Nd - Sr isotopic and U - Pb zircon study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **49**(2): 587-600.

Lima M.I.C., Fonsêca E.G., Oliveira E.P., Ghignone J.I., Rocha R.M., Carmo U.F., Silva J.M.R., Siga Jr O. (coord). 1981. Projeto RadamBrasil - Folha Salvador (SD.24). Programa de Integração Nacional, 24-192 p.

Ma C., Beckett J.R., Comolly H.C.J., Rosman G.R. 2013. Discovery of Meteoritic Loveringite, Ca (Ti, Fe, Cr, Mg)₂₁O₃₈, in an Allende Chondrule: Late-Stage Crystallization in a Melt Droplet. In: 44th Lunar and Planetary Institute Science Conference. The Woodlands, Texas, *Abstract*, p.1443-44.

Maliska A.M. 2005. Microscopia eletrônica de varredura. Apostila para usuários de MEV. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Mecânica - Laboratório de Caracterização microestrutural e análise de imagens. 97p.

Manfredi T.R. 2013. A Mineralização de Parisita-(Ce) associada ao Carbonatito Fazenda Varela (Correia Pinto, SC). MS Dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 57p.

Maniar P.D. & Piccoli P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geology Society of America Bulletin*, **101**(5): 635-643.

Maravic H.V. & Morteani G. 1980. Petrology and geochemistry of the carbonatite and syenite complex of Lueshe (N.B. Zaire). *Lithos*, **13**(2):159-170.

Marks M. & Markl G. 2001. Fractionation and assimilation processes in the alkaline augite syenite unit of the Ilímaussaq Intrusion, South Greenland, as deduced from phase equilibria. *Journal of Petrology*. **42**(10):1947-1969.

Martins A.A.M. & Santos R.A. 1993. Ibicaraí, Folha SD.24-Y-B-V. Escala 1:100.000. Texto explicativo. Brasília, Programa de Levantamentos Geológicos Básico do Brasil, MME-SMM-DNPM, 192 p.

Martins A.A.M. & Santos R.A. 1997. Ibicaraí da Folha SD.24-Y-B-V. Escala 1:100.000. Texto explicativo. Brasília, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM, 256 p.

Mascarenhas J.F. & Garcia T.M. 1989. Mapa geocronológico do Estado da Bahia. Escala 1, 1.000.000. Texto Explicativo. Salvador, Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral. 186 p.

Middlemost E.A.K. 1985. *Magmas and Magmatic Rocks: An introduction to igneous petrology*. London, UK, Longman, 266 pp.

Mitchell R.H. 1995. Accessory rare earth, strontium, barium and zirconium minerals in the Benfontein and Wesselton calcite kimberlites, South Africa. In: Mayer H.O.A. & Leonardos O.H. (eds). *Kimberlites, Related Rocks and Mantle Xenoliths*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, 1:15-128.

Mitchell R.H. & Chakhmouradian A.R. 1998. Instability of Perovskite in a CO₂-Rich Environment: Examples from Carbonatite and Kimberlite. *Canadian Mineralogist*, **36**(4):939-952.

Mitchell R.H. 2014 Primary and secondary niobium mineral deposits associated with carbonatites. *Ore Geology Reviews*, **64**:626-641.

Montel J.M. 1993. A model for monazite/melt equilibrium and application to the generation of granitic magmas. *Chemical Geology*, **110**(1):127-146.

- Morimoto N. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogy and Petrology*, **39**(1):55-76.
- Moraes Filho J.C.R & Lima E.S. 2007. Região de Itapetinga, sul da Bahia (borda SE do Cráton do São Francisco): geologia e recursos minerais. CBPM, Série Arquivos Abertos, **27**:1-77.
- Motta A.C., Gomes R.A.D., Delgado I.M., Siqueira L.P., Pedreira A.J. 1981. Feições gravimétricas e magnéticas do Cráton do São Francisco. In: SBG, Anais do Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais. Anais, p. 17-33.
- Naemura K., Yokoyama K., Hirajima T., Svojtka M. 2008. Age determination of thorianite in phlogopite-bearing spinel-garnet peridotite in the Gföhl Unit, Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **103**(4): 285-290.
- Nasraoui M. & Bilal E. 2000. Pyrochlores from the Lueshe carbonatite complex (Democratic Republic of Congo): a geochemical record of different alteration stages. *Journal of Asian Earth Sciences*, **18**(2):237-251.
- Newbury D.E. 2009. Mistakes encountered during automatic peak identification of minor and trace constituents in electron-excited energy dispersive X-ray microanalysis. This article is a US government work and, as such, is in the public domain in the United States of America. *Scanning*, **31**(3):1-91.
- Ni Y., Hughes J.M., Mariano A.N. 1995. Crystal chemistry of the monazite and xenotime structures. *American Mineralogist*, **80**(1):21-26.
- Nishio D & Minakawa T. 2004. Baddelcyite, zirconolite and calzirtite in lateritic rocks from Ryoke and Chichibu Terranes, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. **99**(1):42-53.
- Oleynikov O.B & Suknev V.S. 1999. Ancyrite from kimberlites of Kuoykskoye Field Yakutia. Zapiski Vserossiyskogo Mineralogicheskogo Obshchestva, Proceedings of the Russian. *Mineralogical Society*, **128**(5):96-99.
- Oliveira A.E.L. 2003. Geologia, Petrografia, Litogeoquímica e idade Rb -Sr do Maciço Sienítico Itarantim, Sul do Estado da Bahia. MS Dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 110 p.
- Oliveira E.P., Lafon J.M., Souza Z.S. 1999. Archean-Proterozoic transition in the Uauá Block, NE São Francisco Craton, Brazil: U-Pb, Pb-Pb and Nd isotope constraints. In: International Symposium on Tectonics of the Brazilian Geological Society. Lençóis, *Abstract*, v. 1, p. 38-40.
- Oliveira. R.C.L.M. 2010. Idade Petrografia e Geoquímica do Magmatismo Anorogênico Criogeniano e Toniano no Sul do Estado da Bahia. Salvador. Phd Thesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 96 p.
- Olympus. 2008. Software Cell[^]B: Digital Image System. Version 2.4. Olympus copyright. Conjunto de programas 1 CD-ROOM.
- Paixão R.C. 2008. Caracterização Petrográfica e Geoquímica das Rochas Granulíticas do complexo Itapetinga nos Municípios de Potiraguá e Itapetinga, Sul do Estado da Bahia. Undergraduate Thesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 89p.
- Pedreira A.J. 1999. Evolução sedimentar e tectônica da Bacia Metassedimentar do Rio Pardo: uma síntese. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**(3):339-344.

Pekov I.V, Petersen O.V, Voloshin A.V. 1997. Calcio-ancylite-(Ce) from Ilimaussaq and Naissârssuk, Greenland, Kola peninsula and Polar Urals, Russia; ancylite- (Ce) - calcio-ancylite-(Ce) an isomorphous series. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, **171**(3):309-322.

Peixoto A.A. 2005. Aspectos geológicos, petrológicos e geoquímicos do plutonismo miasquítico brasileiro da região Sul do Estado da Bahia: Batólito Sienítico Itabuna. PhD Thesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 108p.

Pereira V.P., Conceição R.V., Formoso M.L.L., Pires A.C. 2005. Alteration of Perovskite to Anatase in Silica-Undersaturated Rocks of the Catalão-I Carbonatite Complex, Brazil: A Raman study. *Revista Brasileira de Geociência*, **35**(2):239-244.

Pimenta A.C.S., Santos J.J.A., Rosa M.L.S., Conceição H. 2015. Pirocloro no Stock Itajú do Colônia, Sul do Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. *Scientia Plena*, **11**(1):1-6.

Platt R.G., Wall F., Williams C.T., Woolley A.R. 1987. Zirconolite, chevkinite and other rare earth minerals from nepheline syenites and peralkaline granites and syenites of the Chilwa Alkaline Province, Malawi. *Mineral Magazine*, **51**:253-263.

Pomerancblum M. 1978. Carbonato Hidratado de Cério e Estrôncio – Ancilite: Primeira Ocorrência no Brasil. In: XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, anais, v. 3, p. 1156-1159.

Prinz M., Dowty E., Keil K., Bunch T.E. 1973. Mineralogy, petrology, and chemistry of lithic fragments from Luna 20 fines: Origin of the cumulate ANT suite and its relationship to the high-alumina and mare basalts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **37**(4):979-1006.

Prinz M., Keil K., Hlava P.F., Berkley J.L., Gomes C.B., Curvello W.S. 1977. Studies of Brazilian meteorites, III. Origin and history of the Angra dos Reis achondrite. *Earth and Planetary Science Letters*, **35**(2):317-330.

Purtscheller F & Tessadri R. 1985. Zirconolite and baddeleyite from metacarbonates of the Oetztal-Stubai complex (northern Tyrol, Austria). *Mineralogical Magazine*, **49**(353):523-529.

Rajesh V.J., Yokoyama K., Santosh M., Arai S., Oh C.W., Kim S.W. 2006. Zirconolite and Baddeleyite in an Ultramafic Suite From Southern India: Early Ordovician Carbonatite-Type melts associated with extensional collapse of the Gondwana Crust. *The Journal of geology*, **114**(2):171-188.

Rapp R.P. & Watson E.B. 1986. Monazite solubility implications for the felsic magmas and dissolution kinetics: thorium and light rare earth chemistry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **94**(3):304-316.

Rasmussen B. & Fletcher I.R. 2004. Zirconolite: A new U-Pb chronometer for mafic igneous rocks. *Geology*, **32**(9):785-788.

Reed S.J.B. 1996. *Electron Microprobe Analyses and Scanning Electron Microscopy in Geology*. New York, Cambridge University Press, 201 p.

Reguir E.P & Mitchell R.H. 2000. The Mineralogy of Carbonatites and Related Potassic Syenites from the RockyBoy Stock, Bearpaw Mountains, north-central Montana. In: GeoCanada 2000 Conference CD (extended abstracts). File 374.pdf.

Reguir E.P. Aspects of the Mineralogy of the Murin Alkaline Complex, Yakutia, Russia. MS Dissertation. Thunder Bay: Lakehead University, Ontario, 2001. 193 p.

Renné P.R., Onstott T.C., D'Agrela Filho M.S., Pacca I.G., Teixeira W. 1990. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of 1.0 Ga magnetizations from the São Francisco and Kalahari Cratons: tectonic implications for Pan-African and Brasileiro Móbile Belts. *Earth and Planetary Science Letter*, **101**(2): 349-366.

Ried F. 1994. Titanmobilität: Metasomatische, titanreiche Adern am Kontakt von Dolomitmarmoren zur Bergeller Intrusion. PhD Thesis. ETH Zürich; 204 p.

Rønsbo J.G. 1989. Coupled substitutions involving REEs and Na and Si in apatites in alkaline rocks from the Ilimaussaq intrusion, South Greenland, and the petrological implications. *American Mineralogist*. **74**(7-8):896-901.

Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Marinho M.M., Marques L.S. 2003a. Idade (Pb-Pb) e aspectos petrográficos e litogeoquímicos do Complexo Floresta Azul, Sul do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(1):13-20.

Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Marinho M.M. 2003c. Idade Pb-Pb em zircão da mineralização de sodalita-sienito (Blue-Bahia) no Complexo Alcalino Floresta Azul, sul do estado da Bahia. *Brazilian Journal of Geology*, **33**(3):325-327.

Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Marinho M.M., Cunha M.P., Menezes R.C.L. 2004. Idade Pb-Pb e aspectos petrológicos da mineralização em sodalita azul no Maciço Nefelina-Sienítico Itarantim, Sul do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, **34** (3):347-354.

Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Marinho M.M., Menezes R.C.L., Cunha M.P., Rios D.C. 2005a. Magmatismo Neoproterozoico no sul do Estado da Bahia, maciço sienítico serra das araras: Geologia, petrografia, idade e geoquímica. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(1):111-121.

Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Menezes R.C.L., Cunha M.P., Rios D.C., Marinho M.M., 2005b. Magmatismo alcalino intraplaca Neoproterozóico no Sul do Estado da Bahia: Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(4):47-58.

Rosa M.L.S., Conceição H., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Marinho M.M., Menezes, R.C.L., Cunha M.P.; Rios D.C. 2005c. Assinatura mantélica de isótopos de carbono e oxigênio em cristais de calcita de rochas foid-sieníticas da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**(4):71-76.

Rosa M.L.S., Conceição H., Menezes R.C.L., Macambira M.J.B., Galarza M.A., Cunha M.P., Menezes R.C.L., Marinho M.M., Cruz Filho B.E., Rios D.C. 2007. Neoproterozóic anarogenic magmatism in the southern Bahia alkaline Province of NE Brazil. *Lithos*, **97**(1):88-97.

Peccherillo A., Taylor S.R. 1976. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu área, Northen Turkey. *Contrib. Mineralogy Petrology*, **58**(1):63-81.

Salinas A.C.M. 2011. Geoquímica da Intrusão Granítica do Complexo Alcalino Floresta Azul, Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia. MS Dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 85 p.

Santos C.N. Química Mineral e Petrografia do Stock Nefelina Sienítico Rio Pardo, Sul do Estado da Bahia. Undergraduate Thesis. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador 46 p.

Schwarzer R.R. & Rogers J.J. 1974. A worldwide comparison of alkali olivine basalts and their differentiation trends. *Earth and Planetary Science Letters*, **23**(3):286-296.

Shand S.J. 1927. *Eruptive Rocks*. London: Thomas Murby. 488p.

Shaoxiong W.C. & Nekvasil H. 1994. Solvcal: an interactive graphics program package for calculating the ternary feldspar solvus and for two feldspar geothermometry. *Computers & Geosciences*, **20**(6):1025-1040.

Sharp Z.D., Helffrich G.R., Bohlen S.R., Essene E.J., 1989. The stability in the system NaAlSiO₄–NaCl. *Geochimica et Cosmochimica. Acta*, **53**(8):1943-1954.

Silva Filho M.A., Moraes Filho O., Gil C.A.A., Santos R.A. 1974. Folha SD.24-Y-D. Projeto Sul da Bahia. Relatório Final. DNPM-CPRM, 164 p.

Sirbescu M. & Jenkins D.M. 1999. Experiments on the stability of cancrinite in the system Na₂O–CaO–Al₂O₃–SiO₂–CO₂–H₂O. *American Mineralogist*, **84**:1850-1860.

Smirnov V.I. 1983. *Studies of Mineral Deposits*. Mir Publishers, Moscow, 288 p.

Spencer K.J. & Lindsley D.H. 1981. A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *American Mineralogist*, **66**(11-12):1189-1201.

Srivastava R.K., Heaman L.M., Sinha A.K., Shihua S. 2005. Emplacement age and isotope geochemistry of Sung Valley alkaline–carbonatite complex, Shillong Plateau, northeastern India: Implications for primary carbonate melt and genesis of the associated silicate rocks. *Lithos*, **81**(1):33-54

Sørensen H. (eds). 1974. *The Alkaline Rocks*. John Wiley, London, 622 pp.

Stucki A., Trommsdorff V., Gunthe D. 2001. Zirconolite in metaroddingites of Penninic Mesozoic ophiolites, Central Alps. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*. **81**(2):257-265.

Teixeira L.M. 2002. Caracterização de Minerais Portadores de Terras Raras e sua aplicação a petrologia e geocronologia de granitos das Subprovíncias Tocantins e Paranaíba – Goiás. PhD Thesis. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 356 p.

Toledo M.C.M., Oliveira S.M.B., Fontan F., Ferrari V.C., Parseval P. 2004. Mineralogia, morfologia e cristaloquímica da monazita de Catalão I (GO, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(1):135-146.

U.S. Geological Survey, 2005, Selection of Colors and Patterns for Geologic Maps of the U.S. Geological Survey. Disponível em <http://pubs.usgs.gov/tm/2005/11B01/pdf/TM11-B1.pdf>. Acessado em 21 de agosto de 2013.

Varlamova A., Sadovnikov A., Novikov D. 2007. Layered Proterozoic PGE-bearing intrusions on the NE Baltic Shield: new U–Pb on zircon and He 4/He 3 for accessory minerals data. *Geophysical Research Abstracts*, **9**:1-2.

Vavra G., Gebauer D., Schmid R., Compston W. 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): an ion microprobe (SHRIMP) study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **122**(4):337-358.

Wark D.A., Reid A.F., Lovering J.F., El Goresy A. 1973. Zirconolite (versus zirkelite) in lunar rocks. In: IV Lunar and Planetary Science Conference, Austrália, *abstract*, 764-6.

Wellman T.R. 1970 The stability of sodalite in a synthetic syenite plus aqueous chloride fluid system. *Journal Petrology*, **11**(1):49-72.

Whytney D.L. & Evans B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**(1):185-187.

Williams C.T. 1996. The occurrence of niobian zirconolite, pyrochlore and baddeleyite in the Kovdor carbonatite complex, Kola Peninsula, Russia. *Mineralogical Magazine*, **60**(401):639-646.

Williams C.T. & Gieré R. 1996. Zirconolite: a review of localities worldwide, and a compilation of its chemical compositions. *Bulletin of the Natural History Museum of London*. **52**:1-24.

Woolley A.R. & Platt R.G. 1986. The mineralogy of nepheline syenite complexes from the northern part of the Chilwa Province, Malawi. *Mineralogical Magazine*. **50**:597-610.

Woolley A.R. & Platt R.G. 1988. The peralkaline nepheline syenites of the Junguni intrusion, Chilwa province, Malawi. *Mineralogical Magazine*, **52**:425-433.

Zaitsev A.N., Wall F., Le Bas M.J. 1998. REE-Sr-Ba Minerals from the Khibina Carbonatites, Kola Peninsula, Russia: Their Mineralogy, Paragenesis and Evolution. *Mineralogical Magazine*, **62**(2):225-250.

Zeh A., Williams I. S., Bratz H., Millar I. L. 2003. Different age response of zircon and monazite during the tectonometamorphic evolution of a high grade paragneiss from the Ruhla Crystalline Complex, central Germany. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **145**(6):691-706.

Zhu X.K. & O'Nions R.K. 1999. Zonation of monazite in metamorphic rocks and its implications for high-temperature thermochronology: A case study from the Lewisian terrain. *Earth and Planetary Science Letters*, **171**(2):209-220.

ANEXOS

Anexo I – Análises de Feldspatos

Anexo I.1. Análises químicas pontuais de feldspatos

Lâmina 2098																				
Fácies		Annita Fold Sienito																		
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	64,80	68,20	68,20	64,70	68,50	64,40	67,70	65,50	68,30	64,90	68,20	64,90	68,20	64,70	67,40	67,60	64,70	65,00	68,50	64,90
Al ₂ O ₃	18,90	19,90	19,70	18,90	19,50	19,10	19,70	19,00	19,70	18,80	19,80	18,80	19,80	18,90	20,40	19,60	18,90	18,50	19,70	18,70
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	1,10	12,00	12,20	0,60	12,00	0,50	10,50	2,50	12,00	0,30	12,00	0,40	12,00	0,50	12,20	12,10	0,30	0,30	11,80	0,30
K ₂ O	15,20	0,00	0,00	15,80	0,00	16,00	2,10	13,00	0,00	16,00	0,00	15,90	0,00	15,90	0,00	0,00	16,00	16,20	0,00	16,10
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,10	100,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00
Fórmula estrutural com base em cinco cátions e oito oxigênios																				
Si	2,983	2,978	2,980	2,984	2,993	2,974	2,980	2,989	2,985	2,992	2,981	2,991	2,981	2,984	2,951	2,959	2,987	3,000	2,990	2,994
Al	1,026	1,024	1,015	1,027	1,004	1,040	1,022	1,022	1,015	1,022	1,020	1,021	1,020	1,028	1,053	1,011	1,028	1,006	1,014	1,017
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,098	1,016	1,034	0,054	1,017	0,045	0,896	0,221	1,017	0,027	1,017	0,036	1,017	0,045	1,036	1,027	0,027	0,027	0,999	0,027
K	0,893	0,000	0,000	0,929	0,000	0,942	0,118	0,757	0,000	0,941	0,000	0,935	0,000	0,935	0,000	0,000	0,942	0,954	0,000	0,947
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	4,999	5,018	5,029	4,994	5,013	5,000	5,016	4,989	5,016	4,981	5,018	4,983	5,018	4,992	5,040	5,049	4,984	4,987	5,002	4,985
Membros Finais																				
Or	90,09	0,00	0,00	94,54	0,00	95,46	11,63	77,38	0,00	97,23	0,00	96,32	0,00	95,44	0,00	0,00	97,23	97,26	0,00	97,25
Ab	9,91	100,00	100,00	5,46	100,00	4,54	88,37	22,62	100,00	2,77	100,00	3,68	100,00	4,56	100,00	100,00	2,77	2,74	100,00	2,75
An	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo I.2. Análises químicas pontuais de feldspatos

[illegible]

[illegible]

Lâmina	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195		
Fácies	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Análise	Annita Foid Sienito																			
SiO ₂	68,40	67,90	64,50	67,90	64,60	64,60	68,00	68,00	64,30	64,70	64,30	67,90	67,90	67,60	64,30	68,20	64,40	64,40	64,60	68,00
Al ₂ O ₃	19,50	20,10	18,80	19,80	19,00	19,20	19,80	19,80	18,60	18,80	19,20	19,70	19,90	19,30	18,90	19,70	19,20	18,90	19,10	19,80
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	12,10	12,00	0,60	12,30	0,50	0,40	11,90	11,90	0,70	0,60	0,40	12,20	12,10	12,10	0,80	12,10	0,40	0,50	0,60	12,20
K ₂ O	0,00	0,00	16,00	0,00	16,00	15,80	0,20	0,20	15,80	15,90	16,00	0,20	0,00	0,50	16,10	0,00	15,90	16,20	15,60	0,00
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	99,90	100,00	100,10	100,00	99,90	99,90	100,00	100,00	99,90	100,00	99,90	100,00	100,10	100,00	99,90	100,00	99,90	100,00

172

[illegible]

Anexo I.6. Análises químicas pontuais de feldspatos

Lâmina																					
Fácies		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202
Análise	Fenito	Annita Foid Sienito						Foid Sienito						Fenito							
		101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
SiO ₂		64,70	68,40	64,50	64,80	68,50	67,00	64,40	64,50	67,40	67,90	63,60	65,70	65,80	61,90	63,90	64,00	62,00	65,40	63,90	66,30
Al ₂ O ₃		18,90	19,40	19,10	18,80	19,60	19,80	19,10	19,30	20,00	20,20	22,20	19,50	19,70	20,10	22,70	22,70	20,50	20,80	23,00	20,90
CaO		0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	2,80	0,00	1,70	3,20	1,10
Na ₂ O		0,40	11,90	0,90	0,50	11,90	12,20	0,50	0,50	12,70	11,90	0,50	0,40	0,60	2,60	10,30	10,20	2,80	7,00	9,90	11,70
K ₂ O		16,00	0,00	15,00	15,90	0,00	0,00	15,30	15,60	0,00	0,00	13,60	14,40	13,90	11,00	0,20	0,20	10,60	3,90	0,00	0,00
BaO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,40	0,00	0,00	4,10	1,30	0,00	0,00
Total		100,00	100,00	99,50	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	100,10	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00	99,90	99,90	100,00	100,10	100,00	100,00
Fórmula estrutural com base em cinco cátions e oito oxigênios																					
Si		2,985	2,991	2,979	2,989	2,991	2,950	2,971	2,973	2,955	2,967	2,897	2,996	2,993	2,903	2,824	2,826	2,895	2,920	2,817	2,913
Al		1,028	1,000	1,040	1,022	1,009	1,028	1,039	1,049	1,034	1,041	1,192	1,048	1,056	1,111	1,182	1,182	1,128	1,095	1,195	1,082
Ca		0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,133	0,132	0,000	0,081	0,151	0,052
Na		0,036	1,009	0,081	0,045	1,008	1,042	0,045	0,045	1,080	1,008	0,044	0,035	0,053	0,236	0,882	0,873	0,254	0,606	0,846	0,997
K		0,942	0,000	0,884	0,935	0,000	0,000	0,900	0,917	0,000	0,000	0,790	0,838	0,806	0,658	0,011	0,011	0,631	0,222	0,000	0,000
Ba		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,081	0,000	0,000	0,075	0,023	0,000	0,000
Total		4,990	5,014	4,983	4,991	5,008	5,057	4,982	4,984	5,068	5,016	4,924	4,917	4,909	4,989	5,032	5,025	4,983	4,947	5,009	5,044
Membros Finais																					
Or		96,34	0,00	91,64	95,44	0,00	0,00	95,27	95,35	0,00	0,00	94,71	95,95	93,84	67,47	1,10	1,11	65,77	23,83	0,00	0,00
Ab		3,66	98,63	8,36	4,56	100,00	100,00	4,73	4,65	100,00	100,00	5,29	4,05	6,16	24,24	85,98	85,87	26,41	65,01	84,85	95,06
An		0,00	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,92	13,03	0,00	8,72	15,15	4,94
Cn		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,08	0,02	0,00	0,00

Anexo I.7. Análises químicas pontuais de feldspatos

Lâmina		2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202
Fácies	Análise	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	136	136
		Fenito																	
	SiO₂	64,00	62,40	63,30	62,90	64,40	65,30	61,90	63,80	61,20	61,20	62,40	65,00	63,50	67,10	66,00	66,00	66,00	66,00
	Al₂O₃	22,70	20,40	23,10	19,70	22,50	21,80	20,10	22,80	20,00	22,20	22,50	21,90	23,00	19,80	21,40	21,20	21,20	21,20
	CaO	3,00	0,00	2,90	0,00	3,00	2,00	0,00	3,70	0,00	7,00	2,80	2,10	2,80	0,60	1,80	1,90	1,90	1,90
	Na₂O	10,40	3,00	10,50	2,90	10,10	10,70	3,00	9,50	2,10	8,90	8,50	11,00	10,50	12,40	10,80	11,00	11,00	11,00
	K₂O	0,00	10,10	0,20	10,60	0,00	0,00	10,70	0,30	11,30	0,80	2,20	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	BaO	0,00	4,00	0,00	3,40	0,00	0,00	4,30	0,00	5,40	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	100,10	99,90	100,00	99,50	100,00	99,80	100,00	100,10	100,00	100,10	100,00	100,00	100,00	99,90	100,00	100,10	100,10	100,10
Fórmula estrutural com base em cinco cátions e oito oxigênios																			
	Si	2,822	2,906	2,800	2,934	2,837	2,876	2,900	2,816	2,895	2,746	2,807	2,863	2,807	2,952	2,897	2,898	2,898	2,898
	Al	1,180	1,120	1,204	1,083	1,168	1,132	1,110	1,186	1,115	1,174	1,193	1,137	1,198	1,027	1,107	1,097	1,097	1,097
	Ca	0,142	0,000	0,137	0,000	0,142	0,094	0,000	0,175	0,000	0,337	0,135	0,099	0,133	0,028	0,085	0,089	0,089	0,089
	Na	0,889	0,271	0,901	0,262	0,863	0,914	0,273	0,813	0,193	0,774	0,741	0,939	0,900	1,058	0,919	0,937	0,937	0,937
	K	0,000	0,600	0,011	0,631	0,000	0,000	0,639	0,017	0,682	0,046	0,126	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ba	0,000	0,073	0,000	0,062	0,000	0,000	0,079	0,000	0,100	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Total	5,033	4,970	5,054	4,971	5,010	5,015	5,001	5,006	4,985	5,077	5,030	5,038	5,049	5,064	5,009	5,021	5,021	5,021
Membros Finais																			
	Or	0,00	63,57	1,08	66,03	0,00	0,00	64,53	1,68	69,96	3,96	12,25	0,00	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ab	86,25	28,70	85,83	27,46	85,90	90,64	27,50	80,91	19,77	66,95	71,93	90,46	86,22	97,40	91,57	91,29	91,29	91,29
	An	13,75	0,00	13,10	0,00	14,10	9,36	0,00	17,41	0,00	29,10	13,09	9,54	12,70	2,60	8,43	8,71	8,71	8,71
	Cn	0,00	0,08	0,00	0,07	0,00	0,00	0,08	0,00	0,10	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexo II – Análises de Nefelina

Anexo II.1. Análises químicas pontuais de cristais de nefelina																								
Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies		Annita Foid Sienito																						
Análise		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24							
SiO ₂		42,90	42,40	42,80	42,70	43,20	42,70	42,70	43,00	43,40	44,10	41,80	43,20	43,40	43,00	42,50	42,90							
Al ₂ O ₃		34,00	34,40	34,20	34,20	33,90	34,20	34,10	34,00	33,70	33,10	34,50	33,30	33,70	34,00	34,30	33,80							
FeO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Na ₂ O		16,60	16,50	16,40	16,60	16,80	16,50	16,60	16,50	16,60	16,90	16,70	16,60	16,70	17,00	16,60	17,60							
K ₂ O		6,50	6,80	6,60	6,50	6,20	6,60	6,60	6,50	6,30	6,00	7,00	7,00	6,20	6,10	6,60	5,70							
Total		100,00	100,10	100,00	100,00	100,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,10	100,00	100,10	100,00	100,10	100,00	100,00	Fórmula estrutural com base em 24 cátions e 32 oxigênios						
Si		8,262	8,176	8,242	8,226	8,299	8,228	8,232	8,276	8,341	8,454	8,094	8,336	8,340	8,265	8,195	8,257							
Al		7,718	7,818	7,763	7,766	7,676	7,767	7,748	7,714	7,634	7,479	7,874	7,574	7,633	7,703	7,796	7,668							
Fe		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000							
Na		6,199	6,169	6,124	6,201	6,258	6,165	6,205	6,158	6,186	6,282	6,270	6,211	6,222	6,336	6,207	6,568							
K		1,597	1,672	1,621	1,597	1,519	1,622	1,623	1,596	1,544	1,467	1,729	1,723	1,520	1,496	1,623	1,399							
Total		23,777	23,836	23,749	23,790	23,752	23,782	23,808	23,744	23,707	23,681	23,968	23,844	23,715	23,799	23,822	23,893	Membros Finais						
Ne		77,208	77,031	76,609	77,394	77,854	76,989	77,276	76,830	76,982	77,540	77,924	76,350	77,385	78,724	77,462	80,967							
Ks		19,887	20,883	20,281	19,935	18,900	20,258	20,211	19,910	19,219	18,109	21,486	21,179	18,899	18,582	20,260	17,250							
Qz		2,904	2,086	3,110	2,671	3,246	2,753	2,514	3,260	3,799	4,351	0,589	2,471	3,716	2,694	2,279	1,783							

Anexo II.2. Análises químicas pontuais de cristais de nefelina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies	Análise	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
		Annita <i>Foid</i> Sienito																
SiO₂		43,40	43,50	40,80	43,10	43,30	43,10	43,00	43,00	41,90	43,40	43,40	43,10	43,10	44,20	43,90	43,90	
Al₂O₃		33,60	33,60	33,80	34,00	33,90	34,00	33,90	34,10	34,60	33,60	33,90	34,10	34,30	33,60	33,70	33,30	
FeO		0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	
Na₂O		16,70	16,50	14,30	16,50	16,50	16,60	16,70	16,60	16,90	16,60	16,40	16,40	16,10	16,30	16,00	16,70	
K₂O		6,30	6,40	8,70	6,40	6,20	6,30	6,40	6,30	6,60	6,40	6,20	6,40	6,50	5,80	6,10	5,90	
Total		100,00	100,00	99,90	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	100,00	100,00	99,90	100,10	99,80	
		Fórmula estrutural com base em 24 cátions e 32 oxigênios																
Si		8,345	8,361	8,025	8,289	8,323	8,287	8,279	8,269	8,098	8,347	8,337	8,285	8,279	8,454	8,406	8,431	
Al		7,615	7,612	7,836	7,707	7,680	7,706	7,693	7,729	7,882	7,617	7,675	7,726	7,766	7,575	7,606	7,538	
Fe		0,000	0,000	0,378	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,000	
Na		6,227	6,150	5,454	6,153	6,149	6,189	6,234	6,190	6,333	6,191	6,108	6,113	5,996	6,045	5,941	6,219	
K		1,545	1,569	2,183	1,570	1,520	1,545	1,572	1,545	1,627	1,570	1,519	1,569	1,593	1,415	1,490	1,445	
Total		23,733	23,692	23,875	23,719	23,672	23,727	23,778	23,734	23,941	23,725	23,639	23,693	23,633	23,489	23,506	23,632	
Membros Finais																		
Ne		77,267	76,488	69,646	76,855	76,906	77,259	77,519	77,352	78,879	76,865	76,526	76,568	75,580	75,972	75,024	77,276	
Ks		19,175	19,516	27,873	19,610	19,010	19,288	19,542	19,311	20,264	19,494	19,031	19,656	20,073	17,783	18,816	17,959	
Qz		3,559	3,996	2,480	3,535	4,084	3,452	2,939	3,336	0,857	3,641	4,442	3,776	4,347	6,245	6,161	4,764	

Anexo III – Análises de Micas

Anexo III.1. Análises químicas pontuais de micas

Lâmina	2098	2098	2173	2173	2173	2173	2173	2173	2173	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Análise	Annita Foid Sienito																
SiO ₂	33,37	33,59	31,87	32,73	32,09	32,52	32,73	30,38	32,30	33,16	32,09	31,66	32,52	31,87	31,02	33,16	33,16
TiO ₂	1,67	1,67	0,50	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,67	2,00	1,33	1,67	1,17	1,17	1,67	1,83
Al ₂ O ₃	14,93	15,12	17,01	15,68	17,57	20,97	20,41	21,35	16,82	16,44	16,44	18,52	17,01	18,71	20,03	17,76	16,25
FeO	37,44	37,57	36,54	36,15	37,05	33,83	33,58	35,12	33,71	34,35	35,12	33,19	34,09	34,09	33,96	33,19	34,48
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,66	0,66	0,50	0,00	0,00	0,00	0,99	0,99	1,16	0,99	0,83	0,83	0,83	0,99	0,99
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	1,48	0,54	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	9,28	9,28	9,15	9,28	9,28	9,64	9,64	9,64	9,03	8,67	9,28	9,40	9,40	9,40	9,40	9,28	9,52
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00
Subtotal	96,68	97,21	96,54	96,17	96,48	96,96	96,35	96,49	95,40	96,86	96,73	95,77	95,51	96,07	96,50	96,15	96,23
O=F,Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
Total	96,68	97,21	96,54	96,17	96,48	96,96	96,35	96,49	95,40	96,84	96,70	95,77	95,51	96,07	96,48	96,13	96,23
Fórmula estrutural com base em 16 cátions e 20 oxigênios																	
Si	5,526	5,525	5,283	5,421	5,312	5,238	5,304	4,986	5,331	5,401	5,276	5,200	5,365	5,221	5,061	5,388	5,436
Al iv	2,474	2,475	2,717	2,579	2,688	2,762	2,696	3,014	2,669	2,599	2,724	2,800	2,635	2,779	2,939	2,612	2,564
Al vi	0,439	0,456	0,605	0,482	0,741	1,221	1,201	1,118	0,602	0,557	0,462	0,784	0,671	0,832	0,913	0,790	0,576
Ti	0,208	0,206	0,062	0,208	0,000	0,000	0,000	0,000	0,248	0,204	0,248	0,165	0,207	0,144	0,143	0,204	0,226
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	5,184	5,168	5,065	5,007	5,130	4,559	4,550	4,822	4,652	4,679	4,830	4,559	4,704	4,670	4,634	4,511	4,727
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,164	0,164	0,123	0,000	0,000	0,000	0,245	0,242	0,285	0,244	0,204	0,202	0,202	0,241	0,243
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,260	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,173	0,468	0,172	0,215	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	1,959	1,946	1,935	1,959	1,959	1,980	1,992	2,018	1,902	1,802	1,945	1,968	1,977	1,963	1,955	1,923	1,990
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	0,028	0,000	0,000	0,000	0,028	0,028	0,000
Total	15,790	15,776	16,091	15,820	15,953	15,760	15,743	15,957	15,822	15,980	15,970	15,935	15,764	15,811	15,875	15,696	15,763
Fe/Fe+Mg	1,000	1,000	0,969	0,968	0,977	1,000	1,000	1,000	0,950	0,951	0,944	0,949	0,958	0,958	0,958	0,949	0,951

[illegible]

Anexo III.3. Análises químicas pontuais de micas

Lâmina	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2200	2200	2202	2202	2202	2202	2202	2202
Fácies	Annita Foid Sienito								Foid Sienito				Fenito				
Análise	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
SiO ₂	31,66	31,87	32,94	31,87	32,52	32,09	32,94	32,73	32,52	31,87	35,08	34,23	34,87	36,15	35,08	35,51	35,08
TiO ₂	0,33	0,17	2,50	0,50	0,33	0,50	1,50	2,17	3,00	2,34	6,34	5,84	5,50	6,51	6,67	6,67	6,51
Al2O ₃	17,76	18,90	17,19	20,03	20,78	20,78	18,90	19,46	16,06	17,38	13,23	13,04	13,42	13,79	14,74	14,55	14,17
FeO	36,41	34,35	33,19	33,45	32,16	32,68	33,06	31,39	29,59	29,59	16,85	20,71	20,46	19,94	20,07	20,46	20,46
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,99	0,83	0,83	0,83	0,66	0,83	0,99	0,66	1,82	1,82	11,44	9,78	10,45	10,28	9,78	9,95	9,78
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na2O	0,00	0,54	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,54	0,40	0,54	0,00	0,40
K2O	9,64	9,28	9,15	9,40	9,40	9,52	9,28	9,52	8,67	8,55	9,64	8,43	8,67	9,28	8,67	8,79	8,55
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45	1,90	0,00	0,00	2,01	1,90	2,23
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	0,10	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Subtotal	96,89	95,93	96,99	96,08	95,86	96,40	96,67	95,93	91,67	91,56	94,64	94,13	94,10	96,55	97,77	98,03	97,39
O=F,Cl	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Total	96,87	95,93	96,97	96,08	95,86	96,40	96,67	95,93	91,67	91,56	94,59	94,08	94,06	96,51	97,72	97,98	97,34
Fórmula estrutural com base em 16 cátions e 20 oxigênios																	
Si	5,225	5,241	5,332	5,190	5,254	5,179	5,306	5,277	5,463	5,356	5,461	5,444	5,461	5,493	5,342	5,385	5,382
Al iv	2,775	2,759	2,668	2,810	2,746	2,821	2,694	2,723	2,537	2,644	2,427	2,444	2,477	2,470	2,645	2,601	2,562
Al vi	0,680	0,902	0,612	1,034	1,212	1,133	0,892	0,976	0,644	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,041	0,021	0,305	0,061	0,041	0,061	0,182	0,263	0,379	0,295	0,742	0,698	0,648	0,743	0,764	0,761	0,751
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	5,025	4,723	4,493	4,555	4,346	4,411	4,453	4,233	4,158	4,159	2,194	2,755	2,679	2,534	2,556	2,594	2,624
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,245	0,203	0,200	0,201	0,160	0,199	0,239	0,159	0,457	0,457	2,655	2,320	2,439	2,329	2,221	2,249	2,237
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,172	0,338	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,000	0,164	0,119	0,159	0,000	0,120
K	2,029	1,945	1,890	1,951	1,936	1,959	1,905	1,957	1,859	1,833	1,913	1,711	1,733	1,798	1,685	1,701	1,673
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,089	0,118	0,000	0,000	0,120	0,113	0,134
F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,028	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,054	0,053	0,052	0,052	0,051	0,052
Total	16,048	15,966	15,865	15,803	15,695	15,763	15,672	15,589	15,496	15,544	15,654	15,545	15,654	15,538	15,544	15,455	15,536
Fe/Fe+Mg	0,954	0,959	0,957	0,958	0,965	0,957	0,949	0,964	0,901	0,901	0,452	0,543	0,523	0,521	0,535	0,536	0,540

Anexo III.4. Análises químicas pontuais de micas

Lâmina	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202
Fácies	Fenito											
Análise	52	53	54	55	56	57	58	59				
SiO ₂	35,51	35,08	35,30	35,51	35,72	35,51	35,08	36,79				
TiO ₂	4,84	6,01	6,34	6,17	5,84	6,34	6,51	5,34				
Al ₂ O ₃	13,79	13,79	14,17	13,98	14,36	14,55	14,36	15,12				
FeO	17,37	17,50	20,07	20,20	19,04	20,33	20,33	21,36				
MnO	0,00	0,00	0,39	0,52	0,00	0,00	0,39	0,00				
MgO	11,28	10,78	10,28	10,28	10,61	10,12	9,78	10,61				
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Na ₂ O	0,00	0,00	0,40	0,40	0,00	0,00	0,40	0,67				
K ₂ O	8,79	8,43	9,03	8,91	8,55	8,67	8,43	7,47				
BaO	2,46	2,46	1,67	2,01	2,34	2,57	3,13	0,00				
F	0,00	0,00	0,20	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00				
Cl	0,10	0,00	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20				
Subtotal	94,13	94,04	98,06	98,39	96,67	98,28	98,61	97,56				
O=F,Cl	0,02	0,00	0,13	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05				
Total	94,11	94,04	97,93	98,24	96,63	98,24	98,56	97,51				
Fórmula estrutural com base em 16 cátions e 20 oxigênios												
Si	5,557	5,488	5,376	5,405	5,468	5,392	5,351	5,490				
Al iv	2,443	2,512	2,544	2,508	2,532	2,604	2,582	2,510				
Al vi	0,101	0,032	0,000	0,000	0,059	0,000	0,000	0,149				
Ti	0,569	0,707	0,726	0,706	0,672	0,724	0,746	0,599				
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
Fe	2,273	2,289	2,557	2,571	2,437	2,581	2,593	2,665				
Mn	0,000	0,000	0,050	0,067	0,000	0,000	0,050	0,000				
Mg	2,630	2,514	2,334	2,333	2,421	2,289	2,224	2,361				
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
Na	0,000	0,000	0,119	0,119	0,000	0,000	0,120	0,195				
K	1,755	1,683	1,755	1,731	1,670	1,680	1,640	1,421				
Ba	0,151	0,151	0,100	0,120	0,141	0,153	0,187	0,000				
F	0,000	0,000	0,096	0,144	0,000	0,000	0,000	0,000				
Cl	0,027	0,000	0,052	0,026	0,052	0,051	0,052	0,051				
Total	15,506	15,375	15,711	15,730	15,451	15,474	15,544	15,440				
Fe/Fe+Mg	0,464	0,477	0,523	0,524	0,502	0,530	0,538	0,530				

Anexo IV – Análises de Calcita

Anexo VI. Análises químicas pontuais de cristais de calcita																																						
Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195					
Fácies		Annita Foid Sienito																																				
Análise		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38																		
% em elemento																																						
Ca		44,00	43,30	44,50	43,10	43,40	43,10	43,80	46,60	44,20	44,00	43,30	44,50	43,10	43,40	43,10	43,80	46,60	43,30	43,40	43,10	43,40	43,10	43,80	46,60	43,30	43,40	43,10	43,80	46,60	43,30	43,40	43,10	43,80	46,60	43,30	43,40	
Mn		3,50	3,90	3,80	3,80	3,60	3,70	3,30	2,30	2,70	3,50	3,90	3,80	3,80	3,60	4,20	3,30	2,30	3,70	3,20	3,20																	
Fe		3,50	3,80	3,50	3,80	3,70	4,20	3,90	2,80	3,70	3,50	3,80	3,50	3,80	3,70	4,20	3,90	2,80	3,90	3,90	3,90																	
Sr		1,60	1,50	1,50	1,60	1,60	1,70	1,70	1,40	1,80	1,60	1,50	1,50	1,60	1,60	1,70	1,70	1,40	1,60	1,90	1,90																	
Ba		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																	
Na		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																	
Cl		0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																	
Total		52,60	52,50	53,30	52,30	52,40	52,70	52,70	53,10	52,40	52,60	52,50	53,30	52,30	52,40	53,20	52,70	53,10	52,50	52,40	52,30	52,40	53,20	52,70	53,10	52,50	52,40	53,20	52,70	53,10	52,50	52,40	53,20	52,70	53,10	52,50	52,40	
Moléculas																																						
CaCO ₃		88,36	87,37	88,17	87,37	87,83	86,91	87,98	91,50	89,03	88,36	87,37	88,17	87,37	87,83	86,28	87,98	91,50	87,42	87,85																		
MnCO ₃		5,13	5,74	5,49	5,62	5,32	5,44	4,84	3,29	3,97	5,13	5,74	5,49	5,62	5,32	6,13	4,84	3,29	5,45	4,73																		
FeCO ₃		5,04	5,50	4,98	5,53	5,37	6,08	5,62	3,95	5,35	5,04	5,50	4,98	5,53	5,37	6,03	5,62	3,95	5,65	5,67																		
SrCO ₃		1,47	1,38	1,36	1,48	1,48	1,57	1,56	1,26	1,66	1,47	1,38	1,36	1,48	1,48	1,56	1,56	1,26	1,48	1,76																		
BaCO ₃		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																	
Total		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

Anexo V – Análises de Magnetita

Anexo V.1. Análises químicas pontuais de cristais de magnetita

Lâmina	2098	2098	2098	2098	2098	2098	2098	2098	2098	2173	2173	2173	2195	2195	2195
Fácies	Annita <i>Foid</i> Sienito														
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	88,90	92,00	94,80	100,00	99,60	85,90	75,30	100,00	100,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	8,00	4,80	0,00	0,00	13,00	22,80	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	0,00	0,30	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,10	100,00	99,90	100,00	100,00	99,70	99,90	100,00	100,00
Fórmula estrutural com base em três cátions e quatro oxigênios															
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Fe ²⁺	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,638	0,757	0,843	1,000	0,971	0,563	0,218	1,000	1,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,240	0,243	0,146	0,000	0,000	0,393	0,680	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,000	0,012	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,000	0,028	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Membros Finais															
Magnetita	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Cromita	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ulvöspinel	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Lâmina	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies	Annita Foïd / Sienito																
Análise	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30	30
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	100,00	100,00	100,00	100,00	99,50	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	86,80	89,70	87,30	100,00	100,00	89,30	89,30
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	6,50	9,60	0,00	0,00	7,80	7,80
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	1,80	1,80
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,50	1,20	0,00	0,00	1,00	1,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,10	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,90

188

Lâmina	2195														2200													
	Fácies							Annita Foid Sienito							Foid Sienito													
Análise	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45													
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													
FeO	88,40	86,60	100,00	100,00	100,00	99,70	99,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	86,50	98,90	100,00													
MnO	10,20	11,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,40	0,00	0,00													
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													
CaO	1,10	2,30	0,00	0,00	0,00	0,30	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00													
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,50	0,00													
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00													
Total	99,70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,80	100,00	100,00													

189

Anexo V.4. Análises químicas pontuais de cristais de magnetita

Lâmina	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202
Fácies	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	59	60	60
Análise	Fenito																	
TiO ₂	7,10	7,90	4,80	2,10	2,90	0,90	1,50	1,40	1,70	0,70	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	1,10	1,40	0,80	1,00	1,00	1,20	0,80	1,00	0,60	1,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,40	16,60	16,80	17,40	16,80	17,40	17,40
FeO	87,60	89,20	93,90	96,20	93,80	97,50	97,70	97,50	97,40	97,90	98,20	81,80	81,80	81,60	81,40	81,60	81,40	81,40
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	1,90	0,80	0,50	0,40	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	2,40	0,70	0,00	0,40	1,10	0,40	0,00	0,00	0,40	0,40	0,30	0,80	0,90	1,30	1,20	0,90	1,30	1,20
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
Total	100,10	100,00	100,00	100,10	99,90	100,00	100,00	99,90	100,10	100,00	99,90	100,00	99,90	100,10	100,00	99,90	100,10	100,00
Fórmula estrutural com base em três cátions e quatro oxigênios																		
Ti	0,185	0,211	0,130	0,056	0,077	0,024	0,040	0,038	0,046	0,019	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,045	0,059	0,034	0,042	0,042	0,050	0,034	0,042	0,025	0,042	0,034	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,017	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,493	0,469	0,471	0,490	0,469	0,471	0,490
Fe ³⁺	1,586	1,519	1,707	1,846	1,805	1,902	1,885	1,882	1,884	1,921	1,934	1,507	1,531	1,512	1,510	1,531	1,512	1,510
Fe ²⁺	0,948	1,131	1,110	1,012	0,958	0,996	1,040	1,038	1,017	0,990	0,995	0,943	0,916	0,908	0,915	0,916	0,908	0,915
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,070	0,030	0,019	0,015	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Si	0,166	0,050	0,000	0,028	0,077	0,028	0,000	0,000	0,028	0,028	0,021	0,057	0,064	0,092	0,085	0,064	0,092	0,085
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000
Total	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Membros Finais																		
Magnetita	0,793	0,760	0,854	0,923	0,902	0,951	0,943	0,941	0,942	0,960	0,967	0,754	0,765	0,756	0,755	0,765	0,756	0,755
Cromita	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,246	0,235	0,236	0,245	0,235	0,236	0,245
Ulvöspinel	0,185	0,211	0,130	0,056	0,077	0,024	0,040	0,038	0,046	0,019	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Lâmina	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202
Fácies	Fénito													
Análise	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,50	0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	1,60	0,00
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,90	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	1,60	0,00
Cr ₂ O ₃	16,80	16,60	16,80	0,00	0,00	15,20	17,00	14,90	15,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	81,60	82,30	82,30	98,60	98,60	84,20	81,70	84,50	84,20	94,70	100,00	100,00	96,50	86,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,20
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,60
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	1,40	1,10	0,90	0,00	0,00	0,60	0,80	0,60	0,00	1,50	0,00	0,00	0,30	0,00
K ₂ O	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,10	100,00	100,00	100,00	100,10	100,00	99,80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,80

191

Anexo VI – Análises de Monazita

Lâmina		2008	2008	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Análise		Annita Foïd Sienito																
	La ₂ O ₃	32,90	32,40	25,60	27,20	30,50	30,60	31,00	31,90	30,40	25,70	25,20	23,40	24,80	28,30	28,40	27,70	32,90
	Ce ₂ O ₃	31,20	30,50	35,40	35,20	33,10	30,90	31,00	31,50	32,00	34,80	35,70	35,40	35,50	34,00	34,10	33,80	30,40
	P ₂ O ₅	30,00	30,50	30,10	31,90	30,80	29,20	30,80	30,30	29,10	29,90	29,90	30,20	30,10	30,20	29,50	30,20	29,70
	Nd ₂ O ₃	3,30	3,90	6,00	5,60	4,50	5,20	4,50	3,80	4,50	6,20	5,50	7,40	6,20	4,80	4,70	5,10	3,10
	Pr ₂ O ₃	1,90	1,80	2,80	0,00	0,00	2,70	2,30	2,20	3,10	3,00	3,10	3,20	3,00	2,30	2,70	2,40	1,30
	CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,30	0,30	0,30	0,40	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,60	0,40	0,00
	SiO ₂	0,60	1,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,60	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,60
	ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
	Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	UO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		99,90	100,10	99,90	99,90	100,10	100,10	99,90	100,00	100,00	100,10	100,00	100,00	99,90	100,10	100,00	100,10	100,00

193

Anexo VI.2. Análises químicas pontuais de cristais de monazita

Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies	Annita Foïd Sienito																		
Análise	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	
La ₂ O ₃	31,20	32,20	31,90	33,10	27,00	27,70	31,30	28,90	28,50	33,20	33,60	32,10	30,00	29,90	30,30	28,80	25,00	31,80	
Ce ₂ O ₃	31,60	31,70	32,10	31,60	34,50	34,00	33,00	32,70	33,00	31,60	32,00	31,40	31,80	30,50	30,10	32,00	36,10	32,10	
P ₂ O ₅	29,50	30,00	30,00	29,40	29,80	29,70	29,30	29,50	29,00	29,30	30,00	29,40	29,30	28,90	28,30	30,90	29,70	29,80	
Nd ₂ O ₃	4,70	3,50	4,10	3,90	5,30	5,50	4,10	5,10	5,20	4,30	3,70	4,00	4,00	3,90	4,60	5,20	6,30	4,00	
Pr ₂ O ₃	2,50	2,20	1,80	1,90	3,40	2,80	2,30	2,90	3,40	2,20	0,00	2,40	2,60	2,20	2,50	2,20	2,90	2,10	
CaO	0,50	0,40	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,30	0,30	0,50	0,00	0,30	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,40	0,70	0,70	0,90	0,80	0,00	0,00	
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
UO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	
Gd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sm ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Dy ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total	100,00	100,00	99,90	99,90	100,00	100,00	100,00	100,10	100,00	101,10	100,00	100,00	100,20	100,00	100,10	99,90	100,00	100,10	

Fórmula estrutural com base em dois e quatro oxigênios																			
La	0,454	0,465	0,462	0,483	0,392	0,402	0,458	0,420	0,417	0,481	0,481	0,465	0,432	0,436	0,445	0,407	0,363	0,460	
Ce	0,456	0,454	0,461	0,458	0,497	0,490	0,479	0,471	0,480	0,455	0,455	0,452	0,454	0,442	0,439	0,448	0,521	0,460	
P	0,984	0,994	0,996	0,986	0,993	0,989	0,983	0,983	0,975	0,975	0,986	0,978	0,967	0,968	0,955	1,001	0,991	0,988	
Nd	0,066	0,049	0,057	0,055	0,074	0,077	0,058	0,072	0,074	0,060	0,051	0,056	0,056	0,055	0,065	0,071	0,089	0,056	
Pr	0,036	0,031	0,026	0,027	0,049	0,040	0,033	0,042	0,049	0,032	0,000	0,034	0,037	0,032	0,036	0,031	0,042	0,030	
Ca	0,021	0,017	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,013	0,013	0,021	0,000	0,013	0,013	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,016	0,027	0,028	0,036	0,031	0,000	0,000	
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,032	0,031	0,000	0,000	0,000	
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
U	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Fe	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	
Gd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Dy	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Total	2,017	2,010	2,002	2,010	2,005	2,011	2,011	2,023	2,028	2,024	2,000	2,014	2,014	2,006	2,008	1,989	2,006	2,014	

Anexo VII – Análises de Baddeleyíta

Anexo VII.1. Análises químicas pontuais de cristais de baddeleyíta

Lâmina		2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195	2195
Fácies		Annita Foid Sienito															
Análise		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ZrO ₂		90,90	95,40	95,90	96,30	97,30	95,20	95,80	93,70	93,40	93,50	96,20	92,30	92,40	95,40	95,80	96,40
		4,50	4,00	3,50	2,70	2,40	2,70	2,70	5,30	2,60	3,20	2,60	6,50	5,60	2,80	2,60	2,50
ThO ₂		0,00	0,00	0,00	0,20	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
UO ₂		0,00	0,10	0,20	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,20	0,00	0,00	0,60	0,50	0,20	0,00
HfO ₂		1,20	0,00	0,00	0,50	0,00	1,80	1,20	0,30	0,30	0,00	1,00	0,40	0,90	1,30	0,80	1,00
FeO		3,30	0,40	0,10	0,00	0,20	0,30	0,20	0,60	1,10	2,90	0,20	0,70	0,50	0,00	0,20	0,00
TiO ₂		0,10	0,10	0,30	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00
Total		100,00	100,00	100,00	100,00	100,50	100,00	99,90	99,90	100,10	99,90	100,00	99,90	100,00	100,00	100,00	99,90
Fórmula estrutural com base em quatro cátions e oito oxigênios																	
Zr		3,730	3,845	3,860	3,891	3,898	3,867	3,880	3,795	3,821	3,809	3,887	3,748	3,767	3,873	3,876	3,896
Nb		0,127	0,111	0,097	0,075	0,066	0,075	0,075	0,147	0,073	0,089	0,072	0,181	0,157	0,078	0,072	0,069
Th		0,000	0,000	0,000	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
U		0,000	0,001	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,003	0,000	0,000	0,008	0,007	0,003	0,000
Hf		0,021	0,000	0,000	0,009	0,000	0,032	0,021	0,005	0,005	0,000	0,018	0,007	0,016	0,023	0,014	0,018
Fe		0,172	0,020	0,005	0,000	0,010	0,015	0,010	0,031	0,057	0,150	0,010	0,036	0,026	0,000	0,010	0,000
Rb		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti		0,005	0,005	0,014	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000
Total		4,050	3,978	3,965	3,981	3,979	3,989	3,986	3,979	4,006	4,053	3,987	3,973	3,974	3,980	3,978	3,983

Anexo VII.2. Análises químicas pontuais de cristais de baddeleyíta

Lâmina		2195	2195	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Fácies	A. Foid Sienito	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Análise		Foid Sienito															
ZrO ₂		94,00	94,20	94,90	94,00	95,20	95,00	95,50	98,90	98,40	94,80	99,10	93,20	93,90	91,60	95,10	95,30
Nb ₂ O ₅		4,50	3,10	3,50	4,50	3,60	3,80	3,60	0,00	0,00	4,10	0,00	5,60	4,50	7,10	3,10	3,40
ThO ₂		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂		0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HfO ₂		0,60	2,10	1,30	0,90	0,80	1,00	0,50	1,10	0,90	0,70	0,80	0,80	1,30	0,80	1,40	1,00
FeO		0,40	0,30	0,30	0,50	0,50	0,00	0,10	0,00	0,50	0,10	0,10	0,30	0,20	0,50	0,20	0,20
TiO ₂		0,10	0,20	0,00	0,10	0,00	0,10	0,30	0,00	0,20	0,30	0,00	0,10	0,00	0,10	0,10	0,10
Total		99,90	99,90	100,00	100,00	100,10	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	100,10	99,90	100,00
Fórmula estrutural com base em quatro cátions e oito oxigênios																	
Zr		3,814	3,838	3,848	3,810	3,848	3,846	3,850	3,981	3,962	3,829	3,984	3,779	3,815	3,721	3,858	3,855
Nb		0,125	0,087	0,097	0,125	0,100	0,106	0,100	0,000	0,000	0,114	0,000	0,156	0,125	0,198	0,086	0,094
Th		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U		0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hf		0,011	0,037	0,023	0,016	0,014	0,018	0,009	0,019	0,016	0,012	0,014	0,014	0,023	0,014	0,025	0,018
Fe		0,021	0,016	0,015	0,026	0,026	0,000	0,005	0,000	0,026	0,005	0,005	0,015	0,010	0,026	0,010	0,010
Rb		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti		0,005	0,009	0,000	0,005	0,000	0,005	0,014	0,000	0,009	0,014	0,000	0,005	0,000	0,005	0,005	0,005
Total		3,974	3,977	3,983	3,977	3,988	3,969	3,964	4,000	4,004	3,960	4,003	3,964	3,974	3,959	3,979	3,977

Anexo VII.3. Análises químicas pontuais de cristais de baddeleyita

Lâmina		2200	2200	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202	2202
Fácies	Foid Sienito	Fenito														
Análise	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46		
ZrO ₂	95,00	95,40	94,80	94,90	95,10	96,20	96,60	95,10	96,20	96,00	96,60	96,50	94,90	96,50		
	3,60	3,40	2,50	2,30	2,50	2,50	2,20	2,60	2,30	2,30	2,10	2,30	2,80	2,50		
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,60		
UO ₂	0,00	0,00	0,20	0,30	0,20	0,30	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10		
HfO ₂	1,30	1,20	1,40	1,50	1,30	0,90	1,00	1,60	1,10	1,40	0,90	0,90	1,50	0,00		
FeO	0,10	0,00	0,90	0,80	0,80	0,00	0,10	0,00	0,00	0,20	0,10	0,20	0,40	0,00		
TiO ₂	0,10	0,00	0,30	0,30	0,20	0,20	0,00	0,20	0,40	0,10	0,30	0,10	0,40	0,30		
Total	100,10	100,00	100,10	100,30	100,10	100,10	99,90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,10	100,00		
Fórmula estrutural com base em quatro cátions e oito oxigênios																
Zr	3,845	3,861	3,848	3,852	3,858	3,884	3,904	3,865	3,883	3,886	3,895	3,895	3,846	3,890		
Nb	0,100	0,094	0,070	0,064	0,070	0,069	0,061	0,073	0,064	0,064	0,058	0,064	0,078	0,069		
Th	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008		
U	0,000	0,000	0,003	0,004	0,003	0,004	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001		
Hf	0,023	0,021	0,025	0,026	0,023	0,016	0,018	0,028	0,019	0,025	0,016	0,016	0,026	0,000		
Fe	0,005	0,000	0,046	0,041	0,041	0,000	0,005	0,000	0,000	0,010	0,005	0,010	0,021	0,000		
Rb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ti	0,005	0,000	0,014	0,014	0,009	0,009	0,000	0,009	0,018	0,005	0,014	0,005	0,019	0,014		
Total	3,973	3,976	3,992	3,991	3,994	3,973	3,987	3,973	3,966	3,985	3,974	3,985	3,972	3,969		

Anexo VIII – Análises de Zirconolita

[illegible]